

VŠB-Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Návrh rekonstrukce opěrné zdi
Design of Retaining Wall Reconstruction

Student:

Denisa Kožušníková

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lukáš Ďuriš, Ph.D.

Ostrava 2019

Zadání bakalářské práce

Student: **Denisa Kožušníková**
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3647R017 Geotechnika
Téma: **Návrh rekonstrukce opěrné zdi**
Design of Retaining Wall Reconstruction
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Typy opěrných zdí
3. Variantní návrh opěrné zdi
4. Zhodnocení jednotlivých variant
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Hulla, J., Turček, P. *Zakladanie stavieb*. Jaga: Bratislava, 1998. ISBN 80-88905-05-2
Rozsypal, A. *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. Jaga: Bratislava, 2001. ISBN 80-88905-44-3
Abramson, L. W. *Slope stabilization and stabilization methods*. John Wiley and Sons, Inc., 1995. ISBN 0-471-10622-4

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Ďuriš, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2018
Datum odevzdání: 06.05.2019

doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne

.....

podpis studenta

Prohlašuji:

- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadu, v rámci školních představení a užití díla a § 60 – školní dílo,
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB–TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že odevzdávám své práce souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne

.....

podpis studenta

Poděkování:

Ráda bych poděkovala vedoucímu své bakalářské práce Ing. Lukáši Ďurišovi Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a pomoc při zpracování této práce.

Anotace

Cílem této bakalářské práce je provedení a posouzení tří variant návrhu rekonstrukce opěrné zdi, jejíž nynější stav je havarijní. Teoretická část se zabývá opěrnými zdmi obecně. Pojednává o jejich obecné charakteristice, vlastnostech, posouzení, výhodách a nevýhodách. Tato část se zaměřuje především na navrhované typy opěrných zdí. Druhá část bakalářské práce se zabývá třemi navrženými variantami návrhu rekonstrukce nevyhovující opěrné zdi. Návrhy a jejich posudky jsou zpracovány v softwaru GEO 5. Jednotlivé návrhy jsou mezi sebou porovnávány z různých hledisek.

Klíčová slova: opěrná zeď, tížná zeď, úhlová zeď, gabion, rekonstrukce, GEO 5

Annotation

The aim of this bachelor thesis is to perform and evaluate three variants of designs of the reconstruction of the retaining wall, whose current state is emergency. The theoretical part deals with retaining walls in general. It deals with their general characteristics, properties, assessment, advantages and disadvantages. This section focuses mainly on the proposed types of retaining walls. The second part of the thesis deals with three proposed variants of the reconstruction of the non-compliant retaining wall. Proposals and their assessments are processed in GEO 5 software. Individual designs are compared from different perspectives.

Keywords: retaining wall, gravity wall, cantilever wall, gabion, reconstruction, GEO 5

Obsah

1. Úvod	10
2. Opěrné konstrukce	11
2.1. Gravitační opěrná zeď	12
2.2. Zdi úhlové	14
2.3. Zdi prefabrikované	16
2.4. Zárubní a obkladní zdi	17
2.5. Gabiony	18
2.6. Vetknuté stěny	20
2.7. Vyztužené zdi	21
2.8. Zatížení opěrných zdí	21
2.9. Posuzování opěrných zdí	22
2.10. Drenážní systémy opěrných zdí	26
2.11. Zemní tlaky	26
2.12. Monitoring	27
3. Navrhování podle Eurokódu 7	28
3.1. Princip mezních stavů	28
3.2. Ověření mezních stavů porušení	28
3.3. Návrhové přístupy	30
3.4. Geotechnické kategorie	31
4. Návrh rekonstrukce opěrné zdi	33
4.1. Úvod k problematice	33
4.2. Návrh tížné zdi	35
4.3. Návrh úhlové zdi	36
4.4. Návrh gabionové zdi	37
4.5. Porovnání jednotlivých variant návrhu	38
4.6. Celkové zhodnocení	47
5. Závěr	48
Seznam použité literatury	49
Seznam obrázků	50
Seznam tabulek	50
Seznam grafů	51
Seznam příloh	51

Seznam použitých značek a symbolů

A	soubory dílčích koeficientů pro zatížení nebo účinek zatížení
bm	běžný metr
ČSN	česká technická norma
GK	geotechnická kategorie
M	soubory dílčích koeficientů pro parametry zemin
např.	například
NP	návrhový přístup
obr.	obrázek
R	soubory dílčích koeficientů pro odpor
tab.	tabulka
tj.	to jest
tzv.	tak zvaný

A_{ef}	[m ²]	efektivní plocha
b	[m]	šířka základu
b_{ef}	[m]	efektivní šířka základu
c	[kPa]	soudržnost
d	[m]	šířka předního výstupku konstrukce
E_{def}	[MPa]	modul přetvárnosti zeminy
e	[m]	excentricita
G	[kN]	tíha konstrukce
H	[kN]	vodorovná složka výslednice sil
h	[m]	výška konstrukce
h_1	[m]	výška svahu nad korunou konstrukce
k	[m]	šířka koruny konstrukce
M	[kNm]	moment výslednice k těžišti základové spáry
N	[kN]	svislá složka výslednice sil
R	[kN]	výslednice sil
R_d	[kPa]	svislá únosnost zeminy
R_s	[kPa]	únosnost čelního spoje gabionových košů
R_t	[kN/m]	pevnost drátů gabionových košů
r	[m]	rameno výslednice sil
r_a	[m]	rameno výslednice aktivního zemního tlaku

r_G	[m]	rameno působení tíhy konstrukce
S_a	[kN]	výslednice aktivního zemního tlaku
s	[mm]	sednutí konstrukce
s_A	[mm]	konečné sednutí na lícni hraně základu
s_B	[mm]	konečné sednutí na rubové hraně základu
s_{lim}	[mm]	limitní sednutí konstrukce
v	[m]	výška základu
z	[m]	hloubka založení
α	[°]	odklon rubové stěny od vertikály, úhel pootočení konstrukce
β	[°]	sklon povrchu terénu
γ	[kN/m ³]	objemová tíha zeminy
γ_b	[kN/m ³]	objemová tíha prostého betonu
γ_n	[-]	stupeň spolehlivosti
δ	[°]	třecí úhel konstrukce se zeminou
Δs	[mm]	rozdíl sednutí
σ	[kPa]	kontaktní napětí v základové spáře
φ	[°]	úhel vnitřního tření zeminy

1. Úvod

Geotechnická konstrukce je konstrukce, která je ve vzájemném spolupůsobení s horninovým prostředím, nebo je horninovým prostředím tvořena. Tyto konstrukce budujeme pro uspokojení našich společenských potřeb. Takovými konstrukcemi můžou být například tunely, které nám pomáhají zdolávat nepříznivé útvary přírody nebo násypy, které nám naopak pomáhají krajinu přizpůsobit našim potřebám.

Jedním z typů geotechnických konstrukcí jsou opěrné zdi. Tyto zdi nám pomáhají upravovat krajinu podle našich potřeb. Pomáhají zajišťovat stabilitu svahů, stavební objekty a podpírat tělesa násypů a zářezy. Staly se nedílnou součástí geotechnického inženýrství. Opěrné zdi využíváme v mnoha inženýrských oborech. Těmi jsou zejména dopravní stavitelství, pozemní stavitelství, vodohospodářské stavitelství atd.

Opěrné zdi jsou nejčastěji namáhány zemními tlaky, případně pak i přitížením terénu za rubem zdi. Pomáhají nám snižovat zábor půdy a objem zemních prací především v místech, kde nelze při výstavbě využít svahování a kde se v blízkosti nachází obytná zástavba, silniční zástavba, vodní toky či jiné komunikace.

Navrhování opěrných konstrukcí není jednoduchou disciplínou. Navrhování geotechnických konstrukcí se od navrhování pozemních objektů liší tím, že tyto konstrukce jsou bezprostředně v kontaktu s horninovým prostředím a jsou s ním ve vzájemném spolupůsobení. Je nutné zajistit, aby spolupůsobení horninového prostředí s konstrukcí bylo ve vzájemné rovnováze.

Tato práce se skládá ze dvou hlavních částí. První část se zabývá používanými opěrnými konstrukcemi, především tížnou, úhlovou a gabionovou opěrnou zdí. Cílem této části je seznámit se s těmito typy opěrných konstrukcí, s jejich vlastnostmi, výhodami a nevýhodami. Součástí teoretické části jsou také zásady posuzování opěrných zdí.

Druhá část se zabývá praktickými variantními návrhy nové opěrné zdi, která nahradí stávající zeď, která je v havarijním stavu. Navrženy jsou tři varianty opěrných zdí, a to varianta tížné (gravitační), úhlové a gabionové opěrné zdi. Návrh a posouzení jednotlivých variant jsou provedeny v softwaru GEO 5 v modulu Tížná zeď, Úhlová zeď, Gabion a Stabilita svahu. Praktická část obsahuje také grafické výstupy ze softwaru GEO 5.

Závěr práce obsahuje celkové zhodnocení návrhů, kdy jsou jednotlivé návrhy posuzovány z různých hledisek, například z finančního hlediska, objemu výkopových prací, prostorové náročnosti atd.

2. Opěrné konstrukce

K návrhu opěrných konstrukcí se dnes využívá evropská norma ČSN EN 1997-1 známá také jako Eurokód 7. Podle této normy se z hlediska návrhu rozlišují 3 typy opěrných konstrukcí:

- **gravitační zdi**, které bývají kamenné, z prostého nebo vyztuženého betonu. Sama tíha zdi, případně tíha spolupůsobící zeminy hrají významnou roli v podpírání zadržovaného materiálu. Jedná se o gravitační zdi konstantní nebo proměnné tloušťky, úhlové železobetonové zdi atd.;
- **vetknuté stěny**, které jsou relativně tenké, z oceli, železobetonu, případně složené ze dřeva a oceli (záporové stěny), podporované kotvami, rozpěrami nebo pasivním zemním tlakem. Tíha těchto zdí není významná. Význam má ohybová únosnost zdi. Příkladem jsou štětové, pilotové a podzemní stěny, záporové pažení atd.;
- **složené opěrné konstrukce**, které se skládají z kombinace výše jmenovaných s využitím dalších prvků, například táhel, geomříží, hřebíkováním svahů a jinými. [5]

V běžné praxi se však vetknuté stěny a složené opěrné konstrukce řadí spíše ke konstrukcím pažícím.

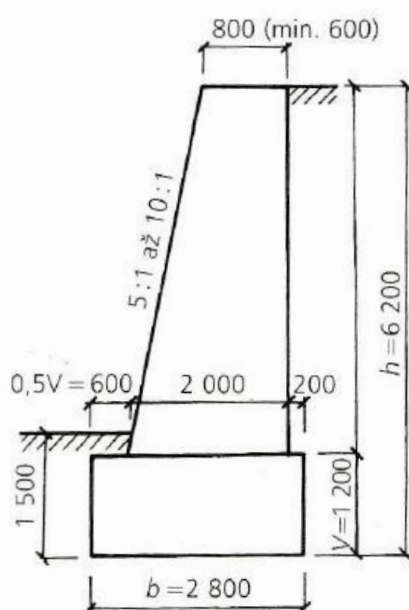
Podle běžně používaného dělení se opěrné zdi dělí na:

- **opěrné zdi** – konstrukce, do kterých se opírá násyp;
- **zárubní zdi** – konstrukce opírající se o přirozený terén v zářezu;
- **obkladní zdi** – konstrukce, které nejsou určeny pro přenášení zemního tlaku. Slouží pouze k ochraně zemního nebo horninového masívu před větráním a ostatním poškozením. [2]

2.1. Gravitační opěrná zeď

Gravitační opěrné zdi přenášejí zatížení zemních tlaků do základové spáry. Tyto stěny odporují tlaku zeminy nebo sypké hmoty za pomoci vlastní tíhy. Tyto zdi jsou mohutné, masivní a těžké. Gravitační zdi jsou nejčastěji konstruovány z prostého betonu, ale mohou být například kamenné, zděné nebo z betonových či jiných tvárnic.

Opěrné stěny z prostého betonu jsou málo hospodárné. Mají mohutné rozměry a velkou spotřebu materiálu. Při výstavbě zdi potřeba zdi dělit rozdělovacími spárami na úseky 10 až 15 m dlouhé. U vyšších opěrných zdí je třeba uvažovat s pracovními spárami pro jednotlivé fáze betonování. Tyto zdi často není potřeba vyztužovat. Je dobré zvolit patřičnou výztuž do základu opěrné zdi, která může prodloužit životnost konstrukce.



Obr. 1: Vzorový návrh tížné zdi [1]

Tvar navrhované zdi se volí podle empirických zvyklostí. Šířka základové spáry b závisí na výšce zdi h . Obvykle se navrhuje podle vzorce:

$$b = (0,33 \sim 0,45)h \quad (2-1)$$

Základ se navrhuje vysoký 0,6 až 2,0 m. Vyložení základu by mělo mít minimálně polovinu výšky základu. Délka koruny zdi má být z technologických důvodů minimálně 0,6 m. Líc zdi se provádí ve sklonu 5 : 1 až 10 : 1. Rubová stěna je obvykle svislá, ale může být i mírně zešíkmená.

Šířka koruny se může navrhovat podle vzorce:

$$k = 0,44 + 0,2h \quad (2-2)$$

Pokud opěrná zeď podpírá svah, šířku koruny pro nadloží $h_1 > 1$ m navrhujeme podle vzorce:

$$k = 0,44 + 0,2h + \frac{1}{30}h_1 \left(2 - \frac{h_1}{2h}\right) \quad (2-3)$$

Pro estetičtější vzhled a delší životnost konstrukce je možné opěrnou zeď obložit nebo ošetřit proti zejména klimatickým a přírodním jevům. [4]

Výhody:

- snadný transport potřebných surovin na staveniště,
- nenáročnost na výztuž,
- nenáročnost na půdorysnou plochu,
- malý objem výkopových prací,
- jednoduchá konstrukce.

Nevýhody:

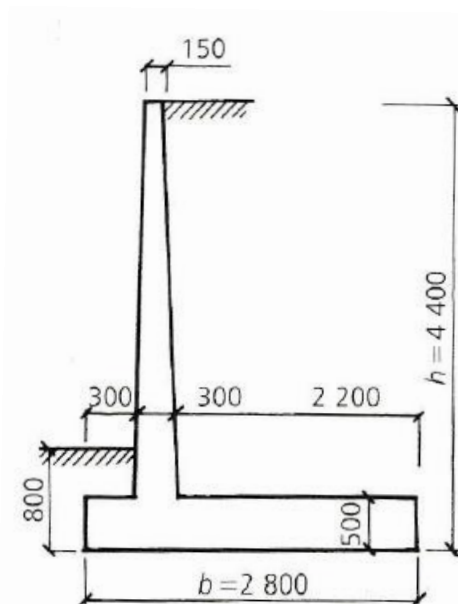
- velká spotřeba materiálu,
- relativně pomalá výstavba,
- nutnost únosného podloží,
- relativně těžká konstrukce,
- nutnost odvodňovacího systému,
- závislost na klimatických podmínkách,
- nutnost dilatačních spár,
- složitější sanace.



Obr. 2: Tízná zeď (foto autor)

2.2. Zdi úhlové

Úhlové opěrné zdi jsou konstruovány ze železobetonu. Jedná se o štíhlé konzolové konstrukce, které využívají tíhu zajišťované zeminy k zajištění vlastní stability. Průřezové rozměry jsou podstatně menší než u tížných zdí. Úhlové zdi se skládají z hradící stěny vetknuté do vodorovné základové desky, která zabíhá pod zadržovanou zeminu. Vodorovná část zajišťuje stabilitu proti převržení a posunutí. Tyto zdi mají menší vlastní tíhu než stěny z prostého betonu, tudíž je můžeme používat i na méně únosném podloží. [7]



Obr. 3: Vzorový návrh úhlové zdi [1]

Kromě vlastní tíhy úhlové zdi působí na zeď i zemní tlaky. Zatížení zemním tlakem je složitější. Předpokládá se vznik dvou smykových ploch. Mohou nastat dva případy, které závisí na geometrii opěrné zdi, úhlu vnitřního tření φ a sklonu povrchu terénu β , a to:

1. Klín zeminy protíná svojí smykovou plochou povrch terénu,
2. Smyková plocha protíná rubovou stranu opěrné zdi. [6]

Šířka koruny úhlové zdi musí mít minimálně 150 mm. Šířka základové spáry je závislá na výšce konstrukce a stanoví se podle vzorce:

$$b = (0,45 \sim 0,56)h \quad (2-4)$$

Pro zachycení vodorovných sil v základové desce je dobré navrhnout na spodní hraně základové desky ozub. Svislá hradící stěna je namáhána zemním tlakem na ohyb a počítá se jako vetknutá konzola. Ohybem vzniká na rubové ploše stěny tah. Při malé výšce do 2 m můžeme navrhnout hradící stěnu po celé délce stejně širokou. Pokud je vyšší, zesiluje se

směrem dolů. Při větších výškách je nutné konstrukci vyztužit pomocí žeber. U stěn vysokých přes 3 m je vhodné navrhnout zeď s přečnívající základovou deskou před lícem hradící stěny, a to nejvýše 1/3 celkové šířky základu. [7]

Tahová výztuž hradící stěny se ukládá do rubu zdi. Kolmo ke svislým vložkám se kladou vodorovné rozdělovací pruty. Při tlačeném líci zdi se vkládá ve svislém i vodorovném směru výztuž z tenkých prutů ve vzdálenosti cca 300 mm. Základová deska je namáhána na ohyb, a to shora tíhou zeminy působící na základovou desku a ze spodu reakcí podloží. Nosná výztuž se klade průběžně k hornímu i dolnímu povrchu, kolmo na ní se ukládá výztuž rozdělovací. [7]

Výhody:

- relativně lehké konstrukce,
- vhodné do méně únosného podloží,
- menší spotřeba materiálu,
- relativně rychlá výstavba,
- možnost prefabrikace,
- nezávislost na klimatických podmínkách,
- odstranění mokrého procesu.

Nevýhody:

- složitější transport materiálu na staveniště,
- složitější konstrukce,
- nutnost konstrukci vyztužit,
- velký objem výkopových prací,
- náročné na půdorysnou plochu,
- nutnost odvodňovacího systému,
- nutnost dilatačních spár,
- složitější sanace.



Obr. 4: Úhlová zeď [12]

2.3. Zdi prefabrikované

Prefabrikované opěrné zdi jsou určeny k vytváření dělicích stěn skládek kameniva a sypkých materiálů, slouží také jako silážní stěny k vybudování hnojišť v zemědělství. Nejčastěji se vyrábí prefabrikované zdi tvaru L a T. Další prefabrikované zdi se mohou budovat z betonových nebo jiných tvárnic. [10]

Výhody:

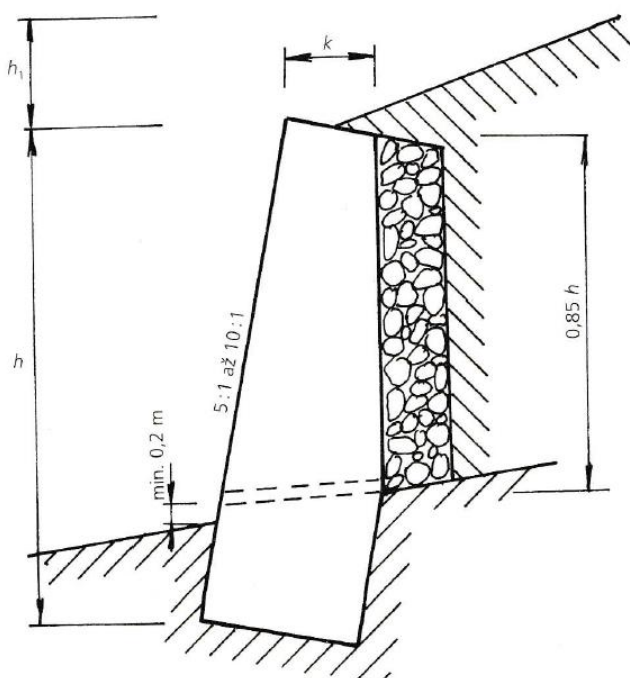
- snadná a rychlá montáž,
- vyrábí se na míru požadavkům,
- nezávislost na klimatických podmínkách,
- vyloučení mokrých procesů,
- poměrně lehké konstrukce.

Nevýhody:

- obtížná manipulace – potřeba jeřábu,
- složité skladování dílců,
- nutná výztuž a spojovací prvky,
- náročná doprava dílců na staveniště,
- potřeba zajistit odvodňovací systém,
- nutnost úpravy terénu (vyrovnání).

2.4. Zárubní a obkladní zdi

Zárubní zdi se velmi často podobají zdem tížným. Rozdíl spočívá v tom, že zárubní zdi zabezpečují odkop přírodního svahu (s výjimkou sesuvných území). Nejsou zatížené zemním tlakem do takové míry, jako zdi opěrné. Proto je můžeme navrhovat štíhlejší. Sklon lící strany bývá v poměru 5 : 1, rubová strana bývá svislá nebo mírně skloněná. [6]



Obr. 5: Zárubní zed' [4]

Zárubní zed' se navrhuje podle empirických vztahů nebo normových tabulek. Šířka koruny při vodorovném povrchu terénu se určí pomocí vztahu:

$$k = 0,30 + 0,17h \quad (2-5)$$

nebo při nadloží ze vztahu

$$k = 0,292 + 0,27h + 0,1h \left(1 - \frac{h_1}{3h}\right)^2 \quad (2-6)$$

Obkladní zdi se budují na ochranu skalních zářezů proti účinkům zvětrávání a odpadávání úlomků skal. Předpokládá se, že jsou zatížené tlakem hornin. Lícni stěna se navrhuje ve sklonu 5 : 1 až 10 : 1. Koruna obkladové zdi bývá hrubá 0,4 m a v patě se rozšiřuje o desetinu výšky:

$$(b = 0,4 + 0,1h) \quad (2-7)$$

2.5. Gabiony

Gabiony jsou drátěné koše vyplněné kamenivem, zeminou nebo jinými sypkými látkami. V průběhu času se postupně zanáší zeminou a na povrchu přirozeně zarůstají vegetací. Díky tomu vzniká funkční těleso opěrné konstrukce i při korozi drátů.

Jsou schopné přenášet velmi velké deformace bez výraznější ztráty únosnosti. Mají široké využití, zejména jako opěrné konstrukce, ale také jako zárubní a obkladní zdi, protihlukové stěny, ploty, uplatňují se při úpravách vodních toků, zabraňují erozi svahů, vytvářejí terasy ve svahovaném terénu apod. [6]



Obr. 6: Gabiony (foto autor)

Drátěný koš

Tahová pevnost drátů bývá v rozpětí od 450 až do 500 MN/m². Dráty jsou hrubé 2,5 až 4 mm a bývají pozinkované, případně obalené plastem kvůli ochraně proti korozi. Drátěné koše se montují z předem připravených dílců, které jsou buďto pletené nebo svařované (tvarově stálější). Rozměry košů jsou variabilní. Nejčastěji se používají prvky široké 1 m, vysoké 0,5 až 1 m a dlouhé 1,5 až 4 m.

Kromě košů se zhotovují tzv. matrace, jejichž výška nepřesahuje 0,5 m. Používají se pouze jako obklady nebo jako ochrana proti erozi svahů a vodních toků. [6]

Výplňový materiál

Plnicím materiálem košů jsou nejčastěji skalní horniny odolné proti zvětrávání. Kamenivo se do košů ukládá nejlépe ručně nebo se sype. Při plnění košů zeminou je potřeba nejdříve ke stěnám koše vložit geotextílii. Je důležité plnit koše stejným druhem zeminy, která se musí zhutňovat po vrstvách. Gabiony plněné zeminou jsou citlivější na přetvoření, a proto vyžadují důkladnější kontrolu kvality vykonávaných pracovních operací. [6]

Uspořádání košů

Koš se na sebe ukládají střídavě, kvůli vzájemnému provázání. Vhodné je spojování košů pomocí ocelových spon, aby se zajistila celková tuhost konstrukce. Po výšce se gabiony ukládají stupňovitě ze vzdušné, rubové nebo z obou stran. Vzdušná strana stěny má obvykle sklon do 10° proti svahu nebo se podle potřeby přizpůsobuje přírodnímu terénu.

Pokud je plnivem nepropustný nebo málo propustný materiál, musí se na kontaktu se zásypaním vytvořit drenážní vrstva. Povrchová, případně dešťová voda se odvádí rigolem umístěným nad opěrnou konstrukcí. Voda, která prosákne drátěným košem, se odvede drenáží se sklonem 2 %.

Základovou spáru je třeba umístit do nezámrzné hloubky, tj. 0,8 m. Zabrání se tak zbytečným pohybům hotové konstrukce, kdy by se v prostoru základové spáry shromažďovala neoddrenovaná voda. Při zakládání do soudržných nebo na zvětrávání náchylných skalních hornin je vhodné v základové spáře zhotovit 0,2 až 0,3 m betonovou vrstvu jako podklad, na který se následně budou pokládat koše. [6]

Výhody gabionů:

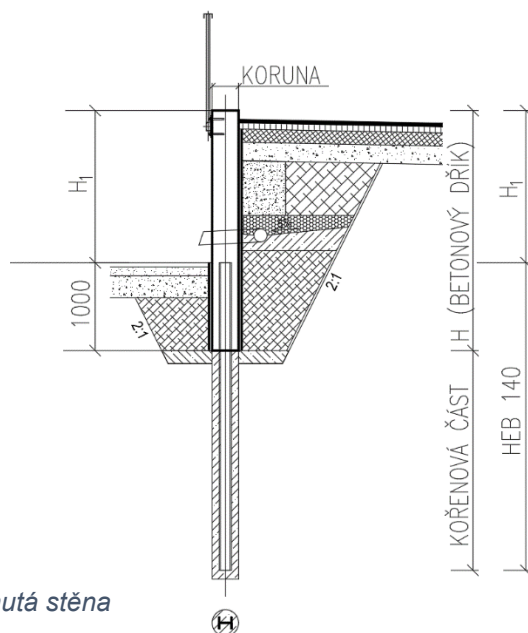
- přizpůsobivé nepravidelnému povrchu,
- možnost využití místních materiálových možností,
- velký odpor proti tlakům a tahům,
- dobře reagují na změnu sil,
- propustná konstrukce,
- úsporná přeprava komponentů,
- snadná montáž,
- vyloučení mokrých procesů,
- nezávislost na klimatických jevech,
- možnost umělého nebo přírodního zazelenání povrchu,
- minimální údržba,
- bezdilatační řešení konstrukcí.

Nevýhody gabionů:

- vyšší pracnost,
- vyšší nároky na kvalitu ukládání kamene,
- náklady za kamenivo.

2.6. Vetknuté stěny

Vetknuté stěny jsou zdi vetknuté do podloží pomocí ocelových válcovaných profilů. Obvykle se používají profily I nebo HEB. Nadzemní část je tvořena betonovým dříkem. Při větší výškách je možno ocelové záporny kotvit.



Obr. 7: Vetknutá stěna

2.7. Vyztužené zdi

Do zeminy za opěrnými zdmi se vkládají výztužné prvky, které přebírají tahová namáhání, zlepšují stabilitu a minimalizují deformace. Aby výztužné prvky byly efektivní, musí protínat smykovou plochu. Výztužnými prvky jsou například geomříže, ocelové pletivo atd. [10]

2.8. Zatížení opěrných zdí

Kromě vlastní tíhy opěrné konstrukce existují ještě další možná zatížení:

- **tíha zásypového materiálu** – návrhové hodnoty objemové tíhy zásypového materiálu musí vycházet ze znalostí dostupného materiálu; během stavebního procesu se musí ověřit, zda skutečné hodnoty objemové tíhy nejsou horší než v návrhu;
- **zatížení povrchu** – například zástavba, pohybující se nebo zaparkovaná vozidla a jeřáby, uskladněný materiál, kontejnery a zboží; je potřeba věnovat zvýšenou pozornost opakovanému zatížení povrchu, které způsobuje vyšší tlaky než při počátečním nebo statickém zatížení;
- **tíha vody** – je třeba vyjádřit rozdíly mezi vodou čerstvou, slanou nebo kontaminovanou ve vyšší koncentraci;
- **síly vln a ledu** – klimatické a hydraulické podmínky se vybírají na základě místně platných údajů; například návrhové hodnoty tlaku ledové kry musí zohlednit počáteční teplotu ledu před jeho ohřátím, rychlost růstu teploty, tloušťku ledové kry;
- **průsakové síly** – jsou způsobené rozdílnou hladinou podzemní vody za a před opěrnou konstrukcí, mohou změnit vodorovné tlaky;
- **kolizní síly** – návrhové hodnoty musí zohlednit energii absorbovanou nárazem a opěrným systémem (zábradlí, svodidla) i vzrůstající tuhost způsobenou opěrnou základovou půdou;
- **vlivy teploty** – uvažují se dočasné i prostorové vlivy abnormálních teplotních změn, Vhodným zásypovým materiálem, drenáží nebo izolací se dá zabránit tvorbě čoček ledu v základové půdě za opěrnou konstrukcí;
- **zemní tlaky** – jsou hlavním zatížením opěrných konstrukcí; navrhování i posuzování stability opěrných konstrukcí je založeno právě na působení zemních tlaků. Při návrhu se obvykle počítá s působením aktivního zemního tlaku. Pasivní zemní tlak se velmi často zanedbává pro jeho minimální deformace. [7]

2.9. Posuzování opěrných zdí

Posouzení stability opěrných zdí musí zohlednit všechny způsoby porušení, které mohou vzniknout účinkem vnějšího zatížení. Pokud některé z následujících kritérií není splněno, je třeba návrh upravit (nejčastěji změnou tvaru konstrukce), abychom dosáhli požadované spolehlivosti opěrné konstrukce a jejího nejbližšího okolí.

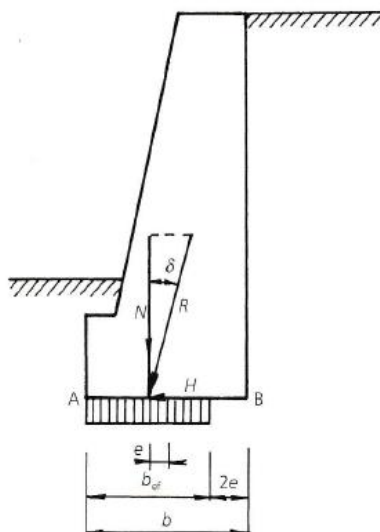
Při návrhu opěrné zdi posuzujeme:

- **Únosnost základové půdy**

Výslednice sil zemního tlaku a vlastní tíhy opěrné zdi působí v základové spáře šikmou excentricitou. Tu můžeme rozložit na složky N kolmou k základové spáře a H v rovině základové spáry. Předpokládáme, že kontaktní napětí v základové spáře bude rovnoměrně rozdělené na efektivní plochu ($A_{ef} = b_{ef} \cdot 1 \text{ bm}$).

Stabilitu základu opěrné zdi posuzujeme jako pásový základ podle vzorce:

$$\sigma = \frac{N}{b_{ef}} \leq R_d \quad (2-8)$$



Obr. 8: Posouzení únosnosti základové půdy [6]

- **Sedání opěrné zdi**

Sedání opěrné zdi nesmí překročit přípustnou hodnotu:

$$s \leq s_{lim} \quad (2-9)$$

- **Pootočení opěrné zdi**

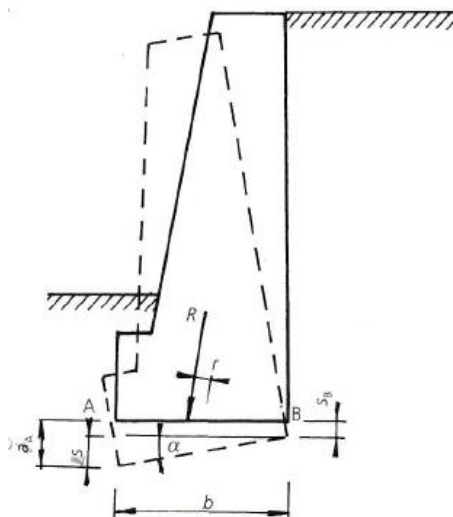
Uvažujeme-li s homogenním podložím pod základem opěrné zdi do hloubky rovné deformační zóně, pootočení základové spáry od výslednice sil R bude:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{12M}{\pi b^2 E_{def}} \quad (2-10)$$

kde je: M moment výslednice k těžišti základové spáry ($M = R \cdot r$),
 b šířka základové spáry,
 E_{def} modul přetvárnosti zeminy.

Pootočení umožní vznik aktivního zemního tlaku. Ve vrstevnatém prostředí je třeba vypočítat sedání pod přední a zadní hranou (body A a B). Pootočení se v tomto případě stanoví:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{s_A - s_B}{b} = \frac{\Delta s}{b} \quad (2-11)$$



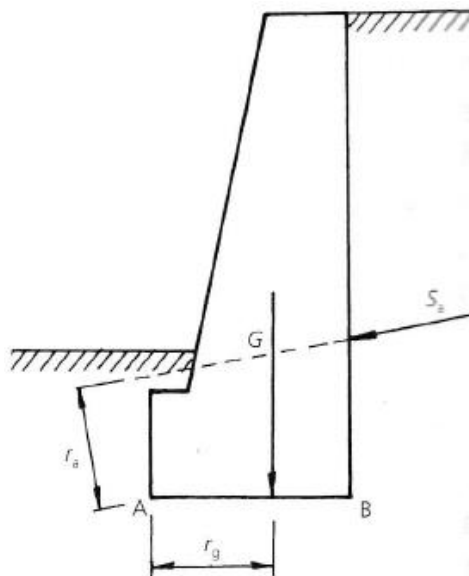
Obr. 9: Posouzení na pootočení [6]

- **Spolehlivost proti překlopení**

Spolehlivost proti překlopení vyjadřujeme pomocí momentů sil zabráňujících překlopení k momentům aktivních sil, usilujících se opěrnou zeď překlomit. Hodnota stupně spolehlivosti by měla nabývat hodnoty alespoň 1,5.

$$\gamma_n = \frac{G \cdot r_g}{s_a \cdot r_a} \geq 1,5 \quad (2-12)$$

Tento způsob porušení lze očekávat zejména u skalních hornin. V zeminách dojde k nerovnoměrnému zvýšení namáhání základové spáry, což může mít za následek překročení únosnosti podloží, projevující se zabořením přední části zdi.



Obr. 10: Posouzení na překlacení [6]

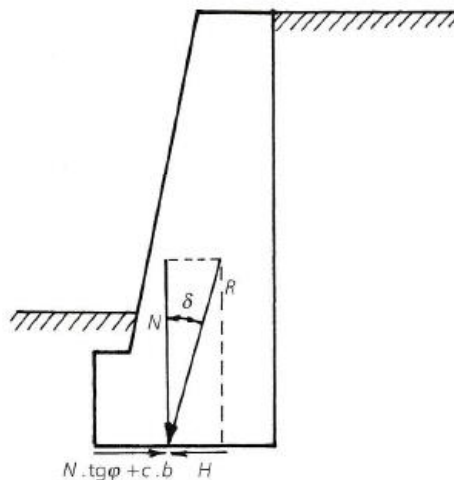
- **Spolehlivost proti posunutí**

K posunutí opěrné zdi podél základové spáry může dojít tehdy, když vodorovná složka H výslednic R je větší než tření $N \cdot \tan \varphi$. V jemnozrnných zeminách bude posunutí vzdorovat také soudržnost mobilizovaná na ploše základové spáry. Zanedbáváme přitom pasivní odpor na přední části základu, který se může mobilizovat až po předcházející deformaci. Kromě toho může být základ také ze vzdušné strany opěrné zdi celý obnažený. Proto se nedoporučuje uvažování pasivního odporu zeminy z této strany. Doporučuje se alespoň dvojnásobná spolehlivost:

$$\gamma_n = \frac{N \cdot \tan \varphi + c \cdot b_{ef}}{H} \geq 2 \quad (2-13)$$

- kde je:
- N normálová složka výslednice sil R ($N = R \cdot \cos \delta$),
 - H horizontální složka výslednice sil R ($H = R \cdot \sin \delta$),
 - δ odklon výslednice sil R od normály k základové spáře,
 - φ úhel vnitřního tření zeminy pod základovou spárou,
 - c soudržnost zeminy pod základovou spárou,
 - b šířka základové spáry.

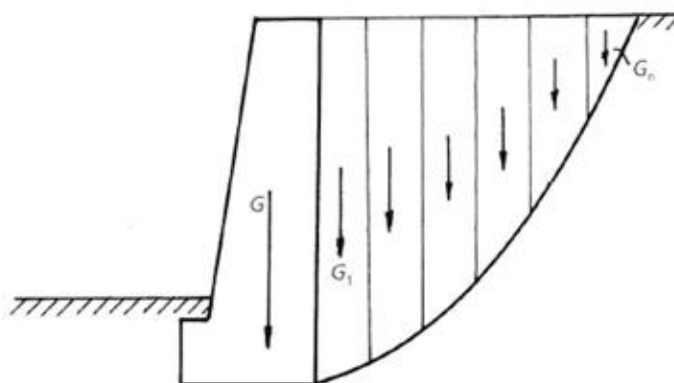
Z rovnice (2–13) vyplývá, že přibližně platí $\varphi \geq 2\delta$. Pokud se nedosáhne vyžadované spolehlivosti (což se často děje u jílovitých zemin), je potřeba naklonit základovou spáru. Dalším opatřením zabezpečujícím spolehlivost proti posunutí je zaražení štětovnicové stěny před opěrnou stěnu, nebo založení zdi na pilotách. Požadavek $\gamma_n \geq 2$ je velmi přísný, obvykle stačí $\gamma_n \geq 1,5$.



Obr. 11: Posouzení na posunutí [6]

- **Spolehlivost proti porušení zemního masívu**

Stabilita opěrné zdi se může porušit, když se překročí pevnost zeminy na smykové ploše procházející za opěrnou zdí. Spolehlivost proti porušení se zjišťuje podobně jako stabilita svahu, např. proužkovou metodou. Pozornost je třeba zaměřit zejména na sesuvná území. [1]



Obr. 12: Posouzení stability svahu [6]

2.10. Drenážní systémy opěrných zdí

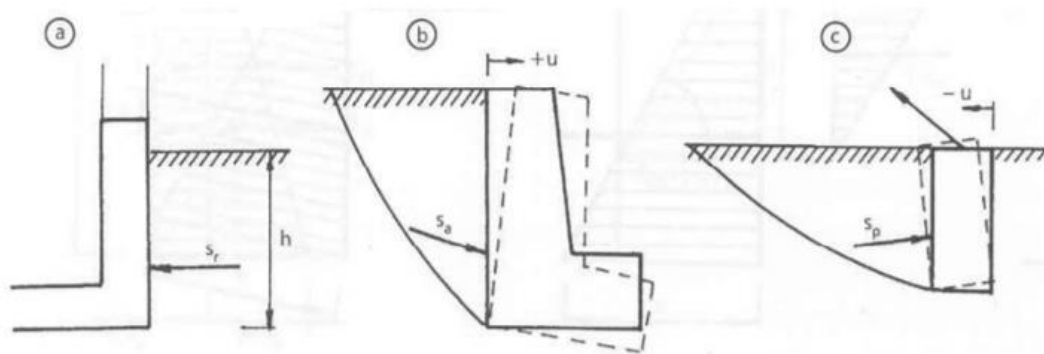
Za rub opěrné zdi se umísťuje drenážní zásyp ze štěrku, který dosahuje k odvodňovacím otvorům. Povrch terénu je překrytý nepropustnou vrstvou. Pod odvodňovacími otvory se za rub aplikuje vrstva jílu, která zabraňuje vnikání vody do základové spáry. Odvodňovací otvory bývají kruhového nebo pravoúhlého tvaru a vyústění je umístěno alespoň 0,2 m nad terénem, dnem příkopu nebo rigolu, aby se zabezpečil odtok vody. Vzdálenost mezi otvory bývá 5 až 10 m. [6]

2.11. Zemní tlaky

Zemním nebo horninovým tlakem nazýváme síly, kterými navzájem na sebe působí stavební konstrukce a horninové prostředí. Velikost zemního tlaku závisí na vlastnostech horninového prostředí (objemová tíha zeminy – γ , úhel vnitřního tření – φ , soudržnost – c), na druhu a tvaru (sklon, geometrie, výška apod.) konstrukce, její tuhosti a uložení v základové půdě, její deformaci, posunu nebo pootočení.

Velikost zemního tlaku se pohybuje mezi dvěma mezními hodnotami, kterými jsou aktivní a pasivní zemní tlak. Všechny mezilehlé hodnoty zemního tlaku je možno vypočítat jen přibližně kromě zemního tlaku v klidu. [2], [8], [9]

Rozlišujeme tři druhy zemních tlaků. Zemní tlak, který působí na konstrukci tak pevnou a tuhou, že nedojde k její deformaci, posunu či pootočení, se nazývá **zemní tlak v klidu** obr. 13 a). Při **aktivním zemním tlaku** dochází k posunu či pootočení konstrukce vlivem zatížení zeminou směrem od zeminového prostředí obr. 13 b). V posledním případě dochází k posunu nebo pootočení konstrukce proti směru zeminy a jedná se o **zemní tlak pasivní** nebo jinak **pasivní odpor** obr. 13 c). [9]

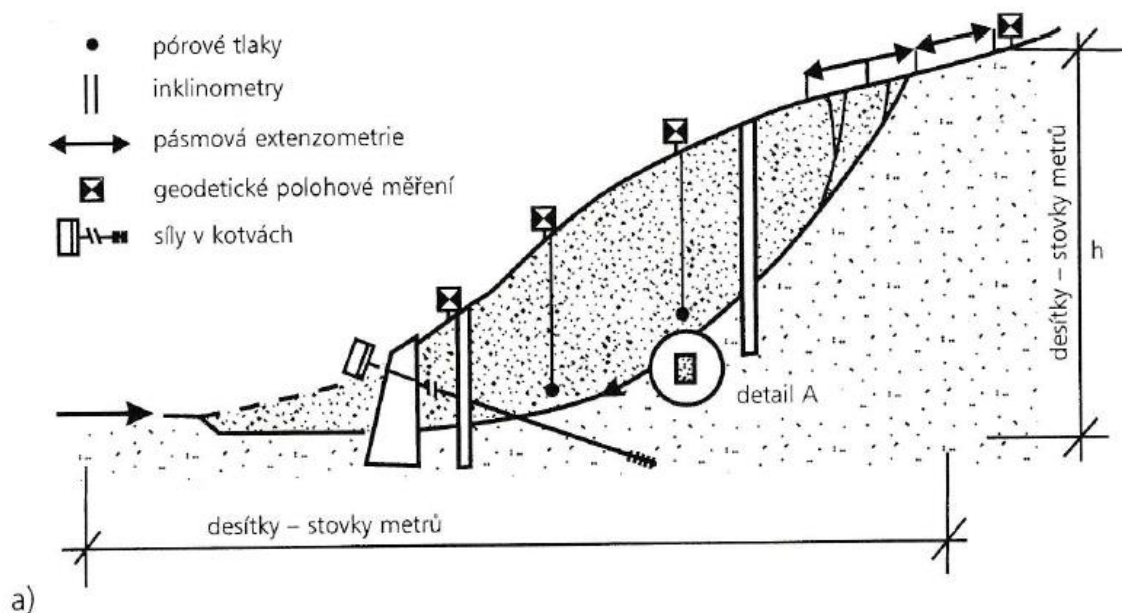


Obr. 13: Zemní tlaky [9]

2.12. Monitoring

U opěrných zdí se ke geotechnickému monitoringu nejčastěji využívají tato zařízení:

- piezometry – k měření pórového tlaku,
- inklinometry – k měření deformací kolmo na vrt, zjištění polohy smykové plochy,
- extenzometry – k měření deformací v ose extenzometru,
- konvergometry – k měření deformací (vzdálenosti bodů),
- dynamometry – k měření sil v kotvách,
- dilatometry – k měření deformací trhlin,
- náklonoměry – k měření náklonů zdi,
- nivelace – k měření výškové polohy bodů.



Obr. 14: Geotechnický monitoring opěrné zdi [3]

U vysokých opěrných zdí je ideální využít geodetické měření na bodech ke kontrole posunů a sedání zdi nebo koruny, měření náklonů pomocí náklonoměru atd. Velice efektivní je použití inklinometru za rubem opěrné zdi. Problém nastává u monitorování úhlové zdi. V tomto případě by se inklinometrický vrt instaloval daleko od dřívku zdi, což by nebylo příliš efektivní.

3. Navrhování podle Eurokódu 7

3.1. Princip mezních stavů

Při navrhování geotechnických konstrukcí se vychází z mezních stavů základové půdy a stavební konstrukce. Rozlišujeme dva mezní stavy:

- mezní stavy porušení (1. mezní stav),
- mezní stavy použitelnosti (2. mezní stav).

Mezní stavy porušení se dělí na tyto skupiny:

- **(EQU)** – ztráta rovnováhy konstrukce nebo základové půdy uvažované jako tuhé těleso, při níž nejsou pevnost konstrukčních materiálů a základové půdy rozhodující;
- **(STR)** – vnitřní porušení či nadměrná deformace konstrukce nebo jejích prvků, pro něž je jejich pevnost rozhodující k posouzení odolnosti;
- **(GEO)** – porušení nebo nadměrná deformace základové půdy, pro niž smyková pevnost základové půdy je rozhodující pro posouzení odolnosti;
- **(UPL)** – ztráta rovnováhy konstrukce nebo základové půdy nastává vlivem vztlaku vody nebo jiných svislých zatížení;
- **(HYD)** – nadzdvihování dna, vnitřní eroze a sufoze v základové půdě, způsobená hydraulickým gradientem. [5]

3.2. Ověření mezních stavů porušení

Pro ověření statické rovnováhy nebo celkového přemístění konstrukce či základové půdy (EQU) platí:

$$E_{dst,d} \leq E_{stb,d} + T_d \quad (3-1)$$

kde je: $E_{dst,d}$ návrhová hodnota účinku destabilizujícího zatížení,
 $E_{stb,d}$ návrhová hodnota účinku stabilizujícího zatížení.

Pro ověření mezního stavu porušení nebo nadměrné deformace konstrukčního prvku nebo části základové půdy (STR a GEO) platí:

$$E_d \leq R_d \quad (3-2)$$

kde je: E_d návrhová hodnota účinku zatížení,
 R_d návrhová hodnota mezní únosnosti k zatížení.

Pro ověření vztlaku (UPL) platí:

$$V_{dst,d} \leq G_{stb,d} + R_d \quad (3-3)$$

$$V_{dst,d} = G_{dst,d} + Q_{dst,d} \quad (3-4)$$

kde je: $V_{dst,d}$ návrhová hodnota destabilizujícího svislého zatížení na konstrukci,
 $G_{stb,d}$ návrhová hodnota stabilizujících stálých svislých zatížení pro posouzení vztlaku,
 $G_{dst,d}$ návrhová hodnota destabilizujících stálých zatížení pro posouzení vztlaku,
 $Q_{dst,d}$ návrhová hodnota destabilizujících proměnných svislých zatížení pro posouzení vztlaku,
 R_d návrhová hodnota mezní únosnosti k zatížení.

Pro ověření odolnosti proti porušení nadzdvížením dna vlivem proudění v základové půdě (HYD) platí:

$$u_{dst,d} \leq \sigma_{stb,d} \text{ nebo } S_{dst,d} \leq G'_{stb,d} \quad (3-5)$$

kde je: $u_{dst,d}$ návrhová hodnota destabilizujícího celkového pórového tlaku vody,
 $\sigma_{stb,d}$ návrhová hodnota stabilizujícího celkového svislého napětí,
 $S_{dst,d}$ návrhová hodnota destabilizující průsakové síly v základové půdě,
 $G'_{stb,d}$ návrhová hodnota stabilizujících stálých svislých zatížení pro posouzení nadzdvíhování dna (tíha nadlehčená vztlakem). [5]

3.3. Návrhové přístupy

Rozlišujeme tři druhy návrhových přístupů. Návrhová hodnota (účinku) zatížení smí dosáhnout nejvýše návrhové hodnoty mezní únosnosti (k zatížení). Přitom zatížení se zvyšuje souborem dílčích koeficientů typu A a únosnost získaná na základě příslušně snížených hodnot vlastností základových půd dílčími koeficienty typu M se redukuje dalšími dílčími koeficienty typu R.

Návrhový přístup 1 (NP1)

Pro všechny případy posouzení základových konstrukcí, s výjimkou pilot a kotev, platí:

- Kombinace 1: „A1“ + „M1“ + „R1“,
- Kombinace 2: „A2“ + „M2“ + „R1“

kde + značí: „kombinuje se s ...“

Příslušné soubory součinitelů pro A, M jsou potom uvedeny v tab. č. 1 a 2, pro R potom v příslušných tabulkách podle druhu základové konstrukce.

Tabulka 1: Dílčí součinitele zatížení γ_F nebo účinků zatížení γ_E

Zatížení		Značka	Soubor	
			A1	A2
Stálé	nepříznivé	γ_G	1,35	1,00
	příznivé		1,00	1,00
Proměnné	nepříznivé	γ_Q	1,50	1,30
	příznivé		0,00	0,00

Tabulka 2: Dílčí součinitele parametrů základové půdy γ_M

Parametr zeminy	Značka	Soubor	
		M1	M2
úhel vnitřního tření ^{x)}	γ_φ	1,00	1,25
efektivní soudržnost	γ_c	1,00	1,25
neodvodněná smyková pevnost	γ_{cu}	1,00	1,40
pevnost v prostém tlaku	γ_{qu}	1,00	1,40
objemová tíha	γ_γ	1,00	1,00
^{x)} Tento součinitel se použije pro tg φ			

Návrhový přístup 2 (NP2)

Pro všechny případy posouzení základových konstrukcí platí:

- Kombinace: „A1“ + „M1“ + „R2“.

Návrhový přístup 3 (NP3)

Pro všechny případy posouzení základových konstrukcí platí:

- Kombinace: „(A1 nebo A2)^{x)}“ + „M2“ + „R3“.

^{x)} Dílčí součinitele typu A1 se použijí na zatížení konstrukce, A2 pak na geotechnické zatížení. [5]

3.4. Geotechnické kategorie

Při návrhu geotechnických konstrukcí vzniká riziko, které závisí:

- na složitosti geologických a geotechnických podmínek podloží;
- na náročnosti konstrukce, která bude s tímto podložím v interakci, či konstrukce, která bude v tomto prostředí přímo situována či bude podloží využívat jako konstrukční materiál;
- na možných následcích jejího selhání na osoby, na budované nebo sousední dílo, a to ve smyslu společenském, ekonomickém a z hlediska následků na životní prostředí. [5]

Tyto možné následky se dělí do těchto tříd:

- **Třída 1** – možné následky slabé, mající zanedbatelné vlivy na osoby nebo malé vlivy na budované nebo sousední dílo;
- **Třída 2** – možné následky střední, mající mírné vlivy na osoby nebo významné vlivy na budované nebo sousední dílo;
- **Třída 3** – možné následky značné, mající významné vlivy na osoby nebo velmi významné vlivy na budované nebo sousední dílo. [5]

Norma ČSN EN 1997-1 zavádí 3 geotechnické kategorie (GK). Kritériem je zde především míra rizika, kterou zakládání daného objektu představuje, tedy:

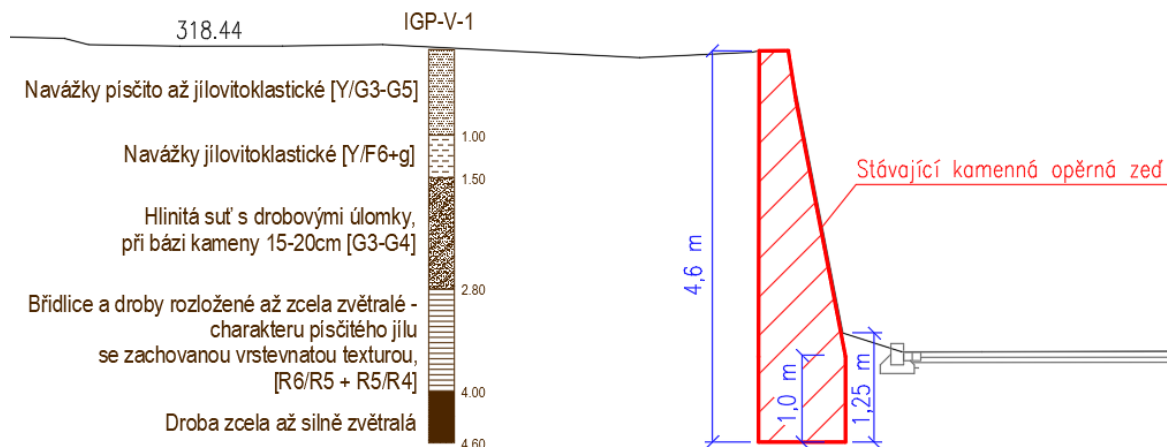
- **1. GK** zahrnuje pouze malé a jednoduché konstrukce se zanedbatelným rizikem, pro které platí, že základní požadavky na posouzení návrhu založení budou splněny na základě zkušeností a kvalitativního geotechnického průzkumu;
- **2. GK** zahrnuje obvyklé typy konstrukcí a základů s běžným rizikem a jednoduchými základovými poměry či podmínkami zatížení; posouzení návrhu vyžaduje obvykle kvantitativní geotechnické údaje a příslušné výpočty k ujištění, že základní požadavky mezních stavů jsou splněny;
- **3. GK** zahrnuje pak konstrukce, jež nespádají do 1. a 2. GK, tj. konstrukce s neobvyklým rizikem, kdy návrh a posouzení základů vyžaduje specializovaný průzkum a obvykle i polní zkoušky. [5]

4. Návrh rekonstrukce opěrné zdi

4.1. Úvod k problematice

V případě, že se stavební konstrukci blíží konec životního cyklu, je potřeba se rozhodnout, zda stavbu budeme nadále potřebovat. Pokud ano, je potřeba rozhodnout o způsobu rekonstrukce dané stavby. Stavbu můžeme opravit, přestavět nebo zbourat a vystavět novou. V tomto případě se bude jednat o typ rekonstrukce, kdy se původní, již nevyhovující opěrná zeď bude bourat a nahradí se novou opěrnou zdí.

Na příkladu opěrné zdi, která je již nevyhovující, bude provedena celková rekonstrukce. Tato opěrná zeď je typ kamenné tížné zdi, která se nachází v blízkosti silniční komunikace. Základní předpoklad stávající konstrukce je stavební výška $h = 4,6$ m, základ vysoký $v = 1$ m a hloubka založení $z = 1,25$ m. Tyto parametry spolu s geologickým profilem horninového prostředí jsou stěžejními parametry pro návrh nové opěrné zdi. Terén za rubem původní opěrné zdi je rovný. V blízkosti zdi se nachází průzkumný vrt, který ověřuje geologický profil v dané lokalitě. Hladina podzemní vody nebyla zaznamenána.



Obr. 15: Stávající opěrná zeď + schéma průzkumného vrtu

Tabulka 3: Vstupní parametry doporučené na základě geologického průzkumu

číslo vrstvy	název vrstvy	mocnost [m]	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]	γ_{su} [kN/m ³]	δ [°]
1	navážky písčito až jílovitoklastické	1,0	30,00	0,00	19,00	9,00	30,00
2	navážky jílovitoklastické	0,5	17,00	8,00	21,00	11,00	8,00
3	hlinitá suť s drobovými úlomky	1,3	30,00	0,00	19,00	9,00	30,00
4	břidlice a droby R6	1,2	26,00	10,00	21,00	11,00	13,00
5	droba R5	0,6	33,00	20,00	21,00	11,00	18,00

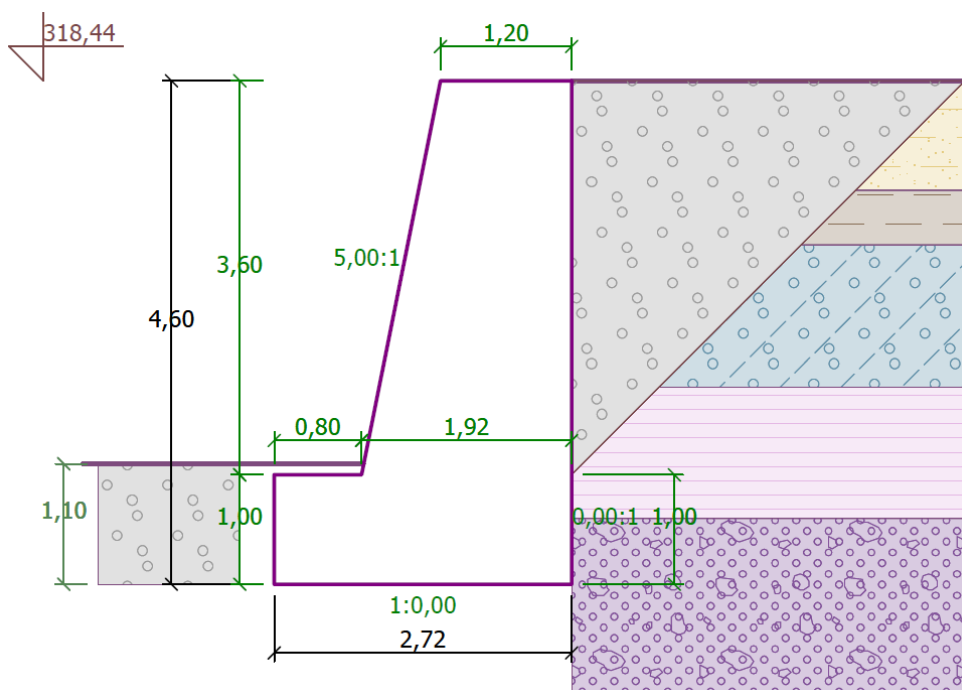
Jsou navrženy tři varianty návrhu nové opěrné zdi, které se následně budou porovnávat podle vybraných kritérií. První variantou je návrh tížné zdi z prostého betonu, druhou je návrh úhlové zdi ze železobetonu a posledním návrhem je návrh gabionové opěrné zdi. Každý návrh je počítán jako 1 bm délky opěrné zdi. Všechny návrhy jsou provedeny v softwaru GEO 5. Výstupy z programu GEO 5 jsou součástí práce jako přílohy.

Všechny návrhy jsou posuzovány metodikou výpočtu podle EN 1997 s použitím 2. NP, kdy se redukuje zatížení a odpor. Návrhová situace je zvolená trvalá, kdy se prokazuje bezpečné navržení konstrukce po celou dobu její životnosti.

4.2. Návrh tížné zdi

Návrh tížné zdi je proveden v programu GEO 5, v modulu tížná zeď, který je určen k návrhu a posouzení betonových a kamenných tížných zdí.

Geometrie návrhu tížné zdi (obr. 16) byla navržena podle výšky a způsobu založení původní opěrné zdi. Nová zeď má výšku $h = 4,6$ m, hloubku založení $z = 1,1$ m a výšku základu má $v = 1$ m a šířku $b = 2,72$ m. Na rozdíl od původní zdi je nyní navrhnut přední výstupek o šířce $d = 0,8$ m. Lícová strana zdi je navrhnutá ve sklonu $5 : 1$. Výška samotného dříku bez základu má výšku $3,6$ m. Rozměr koruny zdi je $k = 1,2$ m. Povrch terénu za rubem zdi je rovný. Dále byl navržen drenážní zásyp ze šterku za rub opěrné zdi, který začíná nad základem a má sklon 45° .



Obr. 16: Návrh geometrie tížné zdi

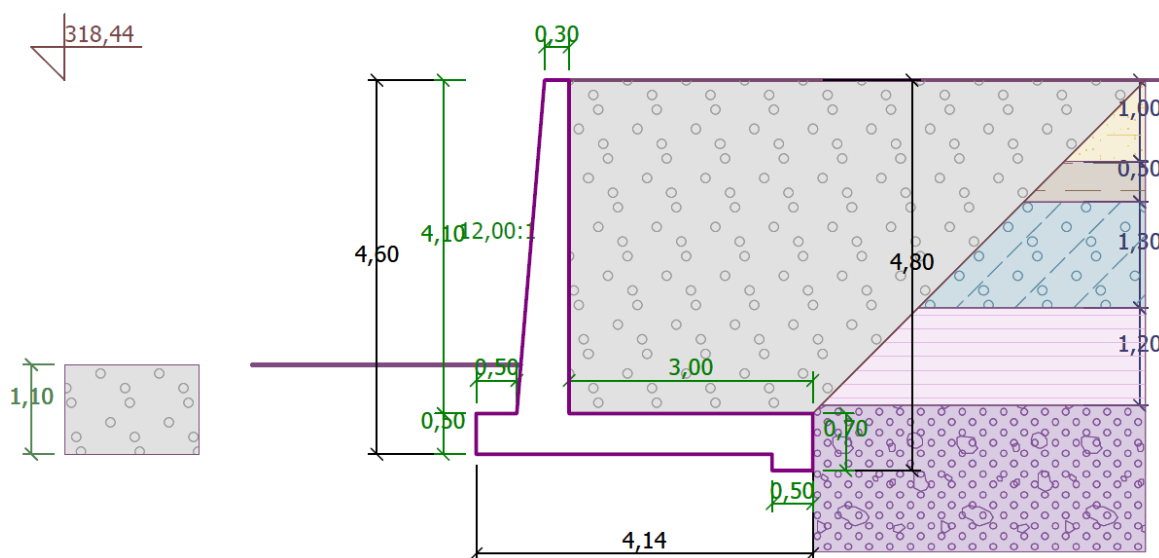
Tížná zeď je navržena z betonu C 30/37 a materiál výztuže základu je z oceli B500B. Odpor na líci konstrukce byl zadán jako klidový tlak, jehož materiálem je šterk a má mocnost $1,1$ m. Byla potřeba navrhnut vyztužení předního výstupku. K dolnímu povrchu základu bylo navrženo 10 ks výztuže profilu $14,0$ mm s krytím 40 mm.

Veškeré posouzení a výstupy k tížné zdi včetně obrázku uložení výztuže z programu GEO 5 jsou v příloze č. 1.

4.3. Návrh úhlové zdi

Návrh úhlové zdi je proveden v programu GEO 5, v modulu úhlová zeď, který je určen k návrhu a posouzení železobetonových úhlových zdí.

Geometrie úhlové zdi (obr. 17) byla navržena podle stěžejních parametrů původní zdi. Rozhodující byla výška zdi $h = 4,6$ m. Základová deska je vysoká $v = 0,5$ m a široká $b = 4,14$ m. Navíc je opatřena předním výstupkem šířky $d = 0,5$ m a zadním ozubem šířky $0,5$ m. Základová deska je v místě ozubu vysoká $0,7$ m. Šířka základové desky, na kterou působí tíha zeminy, má velikost 3 m. Výška samotného dříku je $4,1$ m a je z lícni strany navrhnut ve sklonu $12 : 1$. Koruna opěrné zdi je široká $k = 0,3$ m. Povrch za rubem zdi je rovný. Dále byl navržen drenážní násyp ze štěrku se klonem 45° .



Obr. 17: Návrh geometrie úhlové zdi

Úhlová zeď je navržena z betonu C 30/37 a oceli B500B. Odpor na líci ze štěrku byl definován jako klidový a jeho mocnost je $1,1$ m. Co se týče výztuže, přední část dříku není nutné vyztužovat. Nicméně pro lepší přenášení ohybových momentů byly navrženy 4 ks výztuže profilu $10,0$ mm s krytím 30 mm. Naproti tomu zadní část dříku je vyztužena 12 kusy profilu $10,0$ mm s krytím 40 mm.

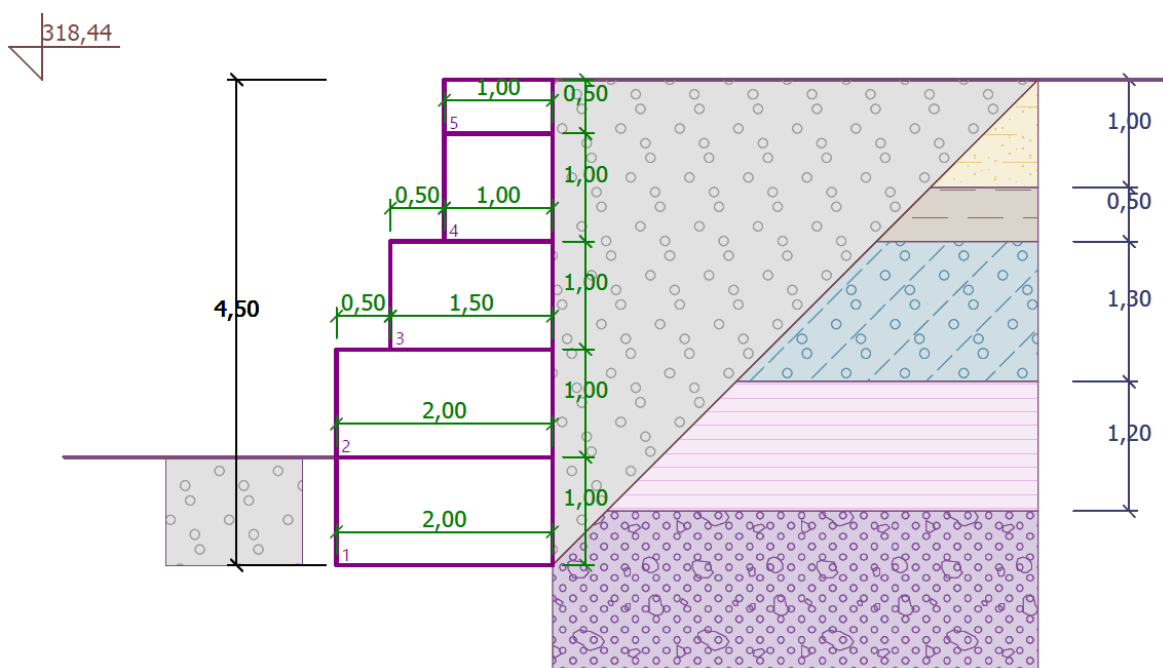
Při vyztužování výstupku bylo navrženo 10 ks výztuže profilu $10,0$ mm s krytím 40 mm. Poslední částí, u které je nutné navrhnout výztuž je základová patka, kde bylo navrženo 10 ks výztuže profilu $10,0$ mm s krytím opět 40 mm.

Veškeré posouzení a výstupy k úhlové zdi včetně obrázku uložení výztuže z programu GEO 5 jsou v příloze č. 2.

4.4. Návrh gabionové zdi

Návrh gabionové zdi je proveden v programu GEO 5, v modulu gabion, který je určen k návrhu a posouzení gabionových konstrukcí, resp. zdí tvořených drátěnými koši vyplněnými kamenivem. Umožňuje počítat obecné tvary konstrukce i s přesahy (kotvením) sítí.

Geometrie gabionové zdi (obr. 18) byla navržena podle parametrů původní zdi. K tomu je nutné brát v potaz, že součásti gabionových košů se vyrábí v modulovaných rozměrech, většinou po 0,5 m nebo 1,0 m. Proto nová zeď má výšku $h = 4,5$ m. Gabionová zeď je rozdělena do pěti stupňů. První stupeň je vysoký 1 m a široký 2 m, a je uložen 1 m pod povrchem terénu. Druhý stupeň má také na výšku 1 m a je široký 2 m. Třetí stupeň je vysoký 1 m, ale jeho šířka má 1,5 m a je z lícové strany vyložen o 0,5 m. Čtvrtý stupeň má výšku i šířku 1 m a je z lícové strany vyložený o 0,5 m. Poslední pátý stupeň je tzv. matrace, která má výšku 0,5 m a je široká 1 m. Povrch za rubem zdi je rovný. Dále byl navržen drenážní násyp ze štěrku se sklonem 45° .



Obr. 18: Návrh geometrie gabionové zdi

Košé jsou navrženy z drátů o pevnosti $R_t = 40$ kN/m a únosnosti čelního spoje $R_s = 40$ kN/m. Vzdálenost svislých sítí je 1 m. Plnivem je kamenivo o objemové tíze $\gamma = 19$ kN/m³, úhlu vnitřního tření $\varphi = 30^\circ$ a nulové soudržnosti c . Odpor na líci konstrukce byl zadán jako klidový tlak, a jeho materiálem je štěrk s mocností 1,0 m.

Veškeré posouzení a výstupy k tížné zdi včetně obrázku uložení výztuže z programu GEO 5 jsou v příloze č. 3.

4.5. Porovnání jednotlivých variant návrhu

Porovnání jednotlivých variant je určeno tak, že každá varianta návrhu má vlastní hodnocení dle hlediska a zároveň je obodována pro lepší zhodnocení, která z těchto tří variant je nejefektivnější. Z hlediska volby optimálního návrhu byla posuzována tato hlediska:

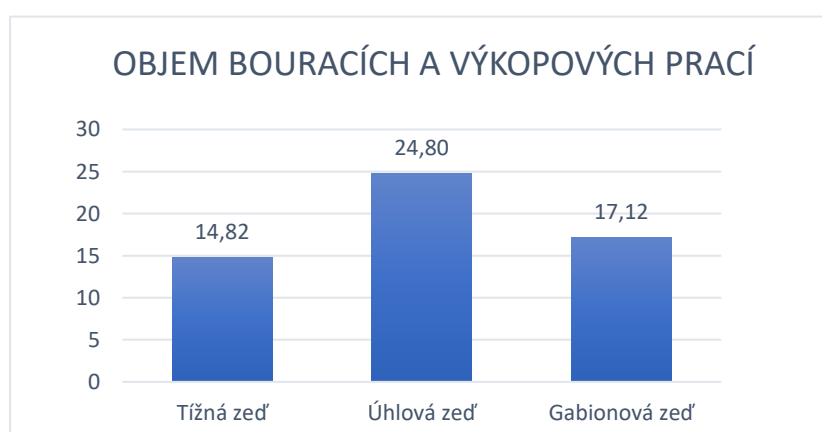
- objem nutných výkopových a bouracích prací,
- cena použitého materiálu konstrukce,
- napětí v základové spáře,
- stabilita svahu,
- posouzení na překlopení,
- posouzení na posunutí.

a) Objem nutných výkopových a bouracích prací na 1 bm:

Objem bouracích a výkopových prací je stanoven pomocí součtu objemů konstrukce a násypu na 1 bm.

Tabulka 4: Objemy jednotlivých konstrukcí

typ opěrné zdi	objem konstrukce [m ³ /m]	objem zásypu [m ³ /m]	celkový objem [m ³ /m]	bodové hodnocení
tížná zeď	8,34	6,48	14,82	1
úhlová zeď	4,10	20,70	24,80	3
gabionová zeď	7,00	10,12	17,12	2



Graf 1: Grafické znázornění celkového objemu prací

Nejmenší objem bouracích a výkopových prací stanovený podle objemu konstrukce a násypu na 1 bm má varianta tížné zdi s celkovým objemem 14,82 m³/m.

b) Cena použitého materiálu konstrukce

Přibližná cena použitého materiálu k zhotovení konstrukce jednotlivých návrhů je stanovena pomocí objemu konstrukce a množství výztuže za pomoci zvoleného katalogu cen. Do ceny nejsou zahrnuty spojovací prvky, pracovní činnosti a jiné příslušenství (např. geotextílie).

Materiál tížné zdi na 1 bm:

- objem betonu 8,34 m³/m
- výztuž celková délka 30 m, profil 14 mm

Cena betonu C 30/37 podle katalogu firmy SKANSKA – 2 399 Kč/m³ bez DPH.

Cena oceli B500B podle katalogu z webové stránky KONDOR.cz – profil 14 mm stojí 32,21 Kč/m bez DPH.

Přibližná celková cena materiálu tížné zdi:

$$8,34 \cdot 2\,399 + 30 \cdot 32,21 = 20\,973,96 \text{ Kč} \Rightarrow 21\,000 \text{ Kč}$$

Materiál úhlové zdi na 1 bm:

- objem betonu 4,10 m³/m
- výztuž celková délka 205 m, profil 10 mm

Cena betonu C 30/37 podle katalogu firmy SKANSKA – 2 399 Kč/m³ bez DPH.

Cena oceli B500B podle katalogu z webové stránky KONDOR.cz – profil 10 mm stojí 32,21 Kč/m bez DPH.

Přibližná celková cena materiálu úhlové zdi:

$$4,10 \cdot 2\,399 + 205 \cdot 32,21 = 16\,438,95 \text{ Kč} \Rightarrow 16\,500 \text{ Kč}$$

Materiál gabionové zdi na 1 bm:

- celkový objem košů 7,00 m³/m
- koš 200x100x100 cm, oka 10x10 cm - 2 kusy cena – 1 479,34 Kč bez DPH
- koš 150x100x100 cm, oka 10x10 cm - 1 kus cena – 1 191,74 Kč bez DPH
- koš 100x100x100 cm, oka 10x10 cm - 1 kus cena – 910,74 Kč bez DPH
- koš 50x100x100 cm, oka 10x10 cm - 1 kus cena – 640,50 Kč bez DPH
- lomový kámen průměrná cena – 400 Kč/m³

Ceny jednotlivých košů byly stanoveny z katalogu webové stránky EUROGABION.cz.

Hodnota průměrné ceny kameniva byla stanovena z webové stránky KAMENY-OSTRAVA.cz.

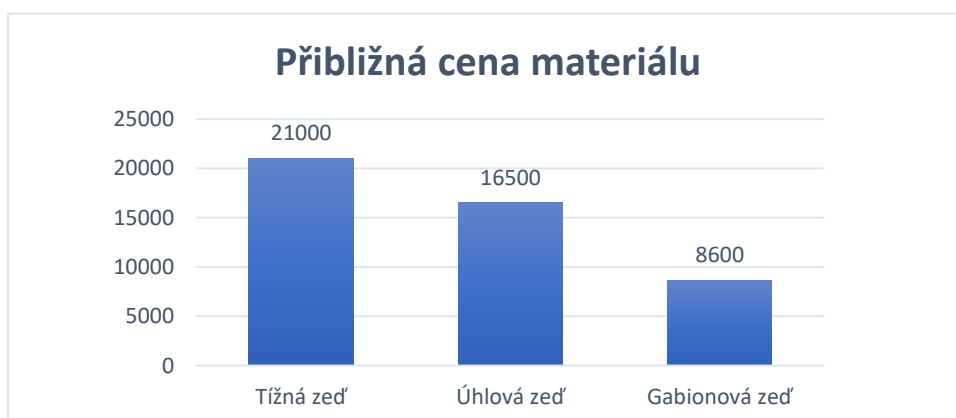
Přibližná celková cena materiálu gabionové zdi:

$$2 \cdot 1\,479,34 + 1\,191,74 + 910,74 + 640,50 + 7,00 \cdot 400 = 8\,501,66 \text{ Kč} \Rightarrow 8\,600 \text{ Kč}$$

Posouzení přibližných cen konstrukcí jednotlivých variant na 1 bm

Tabulka 5: Přibližné ceny jednotlivých konstrukcí

typ konstrukce	přibližná cena na 1 bm	bodové hodnocení
tížná zeď	21 000 Kč	3
úhlová zeď	16 500 Kč	2
gabionová zeď	8 600 Kč	1



Graf 2: Grafické znázornění ceny jednotlivých konstrukcí

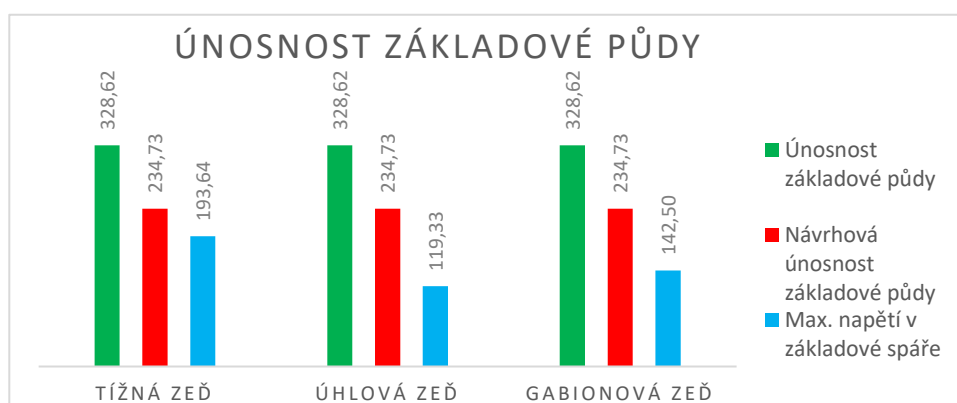
Cenově nejvýhodnější typ opěrné zdi vzhledem k nákladům na materiál konstrukce je zeď gabionová. Do ceny nejsou promítnuty náklady na pracnost výstavby.

c) Napětí v základové spáře

Podle hodnoty maximálního napětí v základové spáře můžeme ohodnotit, jak která varianta zatěžuje podloží a do jakého typu podloží je která varianta více vhodná. Napětí v základové spáře závisí na působení tíhy a na geometrii konstrukce.

Tabulka 6: Napětí v základové spáře jednotlivých návrhů

typ konstrukce	max. napětí v základové spáře [kPa]	bodové hodnocení
tížná zeď	193,64	3
úhlová zeď	119,33	1
gabionová zeď	142,50	2



Graf 3: Grafické znázornění max. napětí vzhledem k únosnosti zákl. půdy [kPa]

Nejmenší napětí v základové spáře má varianta úhlové zdi zejména díky své geometrii, tedy proto že má nejširší základ (4,14 m), zatímco tížná zeď má největší napětí kvůli těžké konstrukci a malé šířce základové spáry (2,72 m). Gabionová konstrukce má sice menší šířku základové spáry než zeď tížná (2 m), ale celá konstrukce je podstatně lehčí.

S maximálním napětím v základové spáře souvisí i tíha konstrukce. Pro lepší názornost působení zatížení na základovou spáru je vhodné spočítat přibližnou hmotnost dané konstrukce.

Materiál tížné zdi na 1 bm:

- objem betonu 8,34 m³/m
- výztuž celková délka 30 m, profil 14 mm

Objemová tíha betonu $\gamma = 23,00 \text{ kN/m}^3 \Rightarrow 2\,300 \text{ kg/m}^3$

Váha výztuže profilu 14 mm – 1,21 kg/m.

Přibližná celková hmotnost tížné zdi na 1 bm:

$$8,34 \cdot 2\,300 + 30 \cdot 1,21 = 19\,218,3 \text{ kg} \Rightarrow 19,218 \text{ t}$$

Materiál úhlové zdi na 1 bm:

- objem betonu 4,10 m³/m
- výztuž celková délka 205 m, profil 10 mm

Objemová tíha betonu $\gamma = 23,00 \text{ kN/m}^3 \Rightarrow 2\,300 \text{ kg/m}^3$

Váha výztuže profilu 10 mm – 0,62 kg/m.

Přibližná celková hmotnost úhlové zdi:

$$4,10 \cdot 2\,300 + 205 \cdot 0,62 = 9\,557,1 \text{ kg} \Rightarrow 9,557 \text{ t}$$

Materiál gabionové zdi na 1 bm:

- objem kameniva 7,00 m³/m
- koš 200x100x100 cm, oka 10x10 cm - 2 kusy hmotnost 1 kusu – 25 kg
- koš 150x100x100 cm, oka 10x10 cm - 1 kus hmotnost 1 kusu – 15 kg
- koš 100x100x100 cm, oka 10x10 cm - 1 kus hmotnost 1 kusu – 14 kg
- koš 50x100x100 cm, oka 10x10 cm - 1 kus hmotnost 1 kusu – 10 kg

Objemová tíha kameniva $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3 \Rightarrow 1\,900 \text{ kg/m}^3$

Hmotnosti jednotlivých košů byly stanoveny z katalogu webové stránky EUROGABION.cz.

Přibližná celková hmotnost gabionové zdi:

$$2 \cdot 25 + 15 + 14 + 10 + 7,00 \cdot 1\,900 = 13\,389 \text{ kg} \Rightarrow 13,389 \text{ t}$$

Posouzení přibližných hmotností variantních konstrukcí na 1 bm

Tabulka 7: Hmotnosti 1 bm konstrukce

typ konstrukce	přibližná hmotnost na 1 bm
tížná zeď	19,218 t
úhlová zeď	9,557 t
gabionová zeď	13,389 t

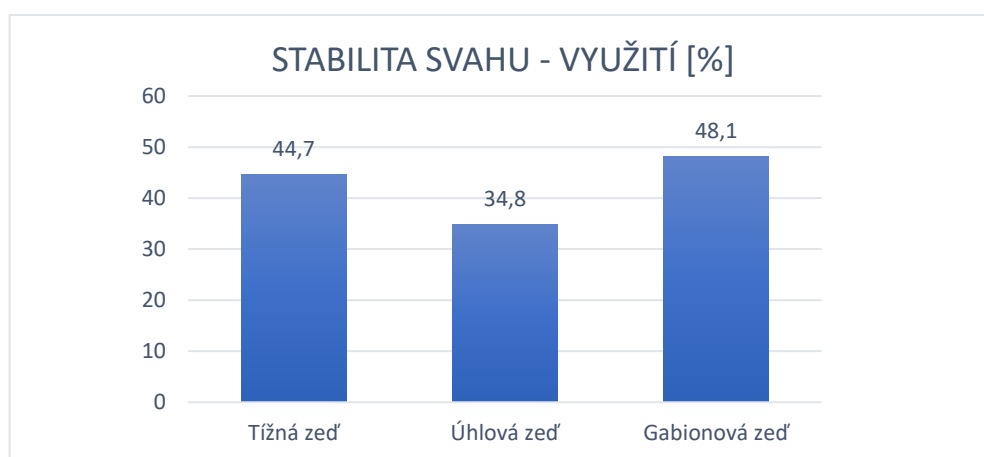
Nejlehčí z konstrukcí je variantní návrh úhlové zdi. Naproti tomu je nejtěžší zeď tížná, která je o téměř 10 tun těžší.

d) Stabilita svahu

Stabilita svahu byla počítána v programu GEO 5 v modulu stabilita svahu. Výpočet byl proveden Bishopovou metodou s optimalizací smykové plochy pro zjištění její nejkritičtější polohy.

Tabulka 8: Stabilita svahu jednotlivých návrhů

typ konstrukce	využití [%]	stupeň bezpečnosti	bodové hodnocení
tížná zeď	44,7	2,24	2
úhlová zeď	34,8	2,87	1
gabionová zeď	48,1	2,08	3

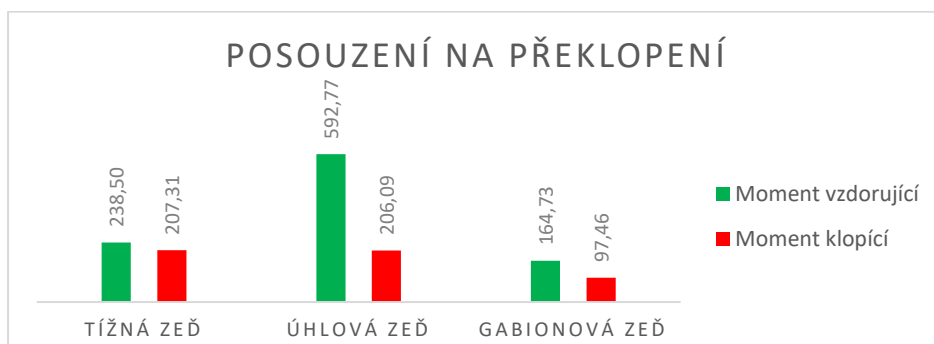


Graf 4: Grafické znázornění využití stability svahu konstrukcí

Z hlediska stability svahu je nejefektivnější varianta návrhu úhlové zdi, protože ke své vlastní stabilitě využívá právě zadržovanou zeminu. Polohy smykových ploch jednotlivých návrhů jsou vyobrazeny v příslušných přílohách. Tvar smykové plochy tížné a gabionové zdi je téměř shodný, zatímco tvar smykové plochy u zdi úhlové má mnohem větší poloměr. Poloměr smykové plochy tížné zdi měří 5,51 m, u úhlové zdi má 7,31 m a u gabionové zdi má poloměr 4,99 m.

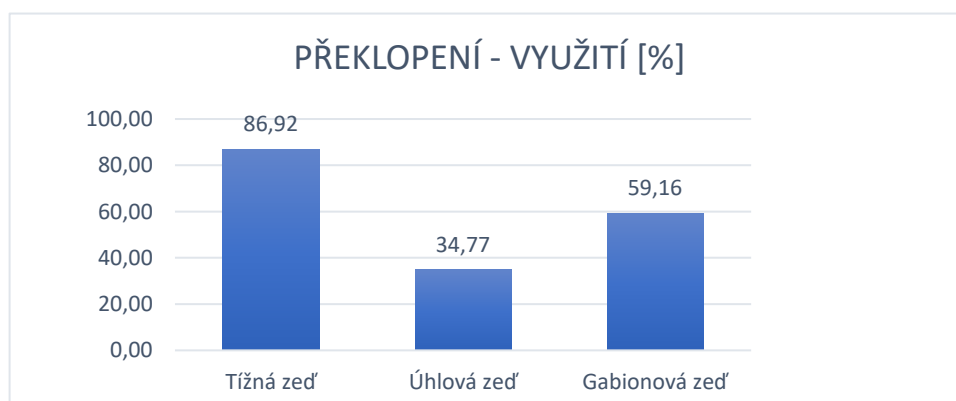
e) Zhodnocení výsledků posouzení na překlopení

Posouzení na překlopení bylo provedeno v programu GEO 5. Graf 5 znázorňuje vzdorující a klopící momenty, které na sebe navzájem působí. Aby konstrukce vyhověla, musí být vzdorující momenty větší než klopící momenty.



Graf 5: Grafické znázornění výsledných momentů k posouzení na překlopení

Podílem hodnot klopícího a vzdorujícího momentu dostáváme hodnotu využití jednotlivé konstrukce pro lepší posouzení variant návrhu.

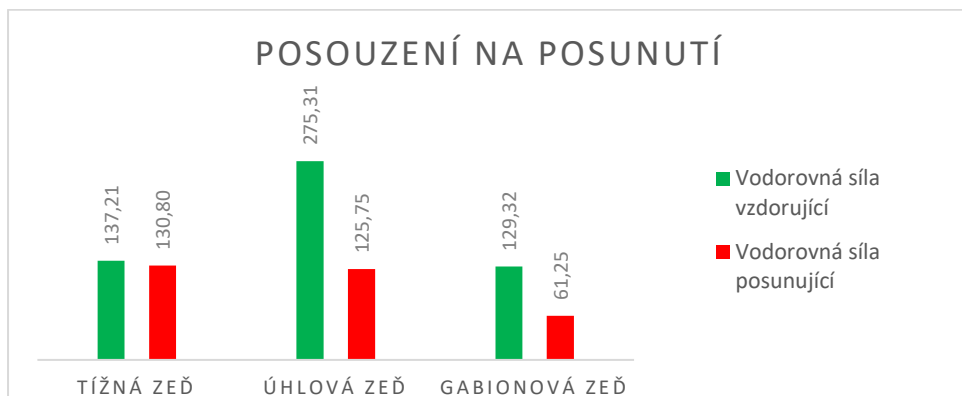


Graf 6: Grafické znázornění využití konstrukcí na překlopení

Z grafu 6 vyplývá, že největší stabilitu proti překlopení má úhlová zeď s 34,77%. Nejhuř dopadla zeď tížná s 86,92%. V bodovém hodnocení dostává úhlová zeď 1 bod, gabionová zeď 2 body a tížná 3 body.

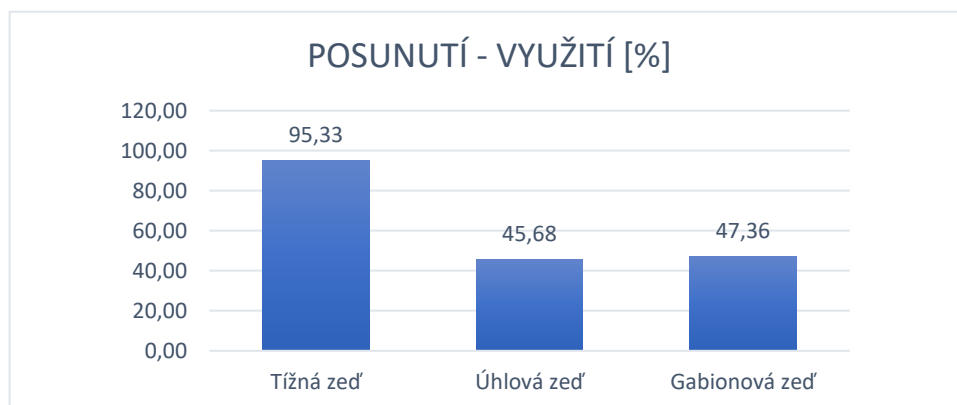
f) Posouzení na posunutí

Posouzení na posunutí bylo provedeno v programu GEO 5. V grafu 7 jsou zobrazeny síly vzdorující a posunující jednotlivých variant návrhu. Aby konstrukce vyhověla, musí být vzdorující síly větší než posouvající.



Graf 7: Grafické znázornění výsledných sil k posouzení na posunutí

Podílem hodnot posunující a vzdorující síly dostáváme hodnotu využití jednotlivé konstrukce pro lepší posouzení variant návrhu.



Graf 8: Grafické znázornění využití konstrukcí na posunutí

Z grafu 8 vyplývá, že největší stabilitu proti posunutí má úhlová zeď s využitím o hodnotě 45,68 %. Naopak nejhůře dopadla zeď tížná s 95,33 %. V bodovém hodnocení dostává úhlová zeď 1 bod, gabionová zeď 2 body a tížná zeď 3 body.

Celkové zhodnocení podle bodového hodnocení

Rozhodnout se, která z variant je nejefektivnější je těžké. Záleží na tom, které z hledisek považujeme za prioritní. Někdy je to vzhled, jindy stabilita, ale nejčastěji je to cena. V této bakalářské práci se efektivnost jednotlivých návrhů posuzuje podle bodového hodnocení, kdy je nejefektivnější variantou ta, která má nejméně bodů.

Tabulka 9: Celkové zhodnocení hledisek opěrných zdí

typ hlediska	tížná zeď	úhlová zeď	gabionová zeď
Objem bouracích a výkopových prací	1	3	2
Cena materiálu konstrukce	3	2	1
Napětí v základové spáře	3	1	2
Stabilita svahu	2	1	3
Posouzení na překlopení	3	1	2
Posouzení na posunutí	3	1	2
Celkový počet bodů	15 b	9 b	12 b

Nejméně bodů získala varianta úhlové zdi. To znamená, že je nejefektivnější ze všech tří variant návrhu nové opěrné zdi navzdory tomu, že je k její realizaci potřeba provést velký objem výkopových prací. Při srovnání obou betonových konstrukcí je zde nejmenší spotřeba betonu a jde o nejlehčí konstrukci opěrné zdi. S tím souvisí i zatížení základové spáry.

Druhou nejefektivnější zdí je gabionová zeď, jejíž výhodou je nízká cena za materiál a vyloučení mokrých procesů při výstavbě. Nevýhodou je podle výsledné tabulky stabilita svahu. Tato varianta je efektivní pro volbu, kdy si nemůžeme dovolit provádět objemné výkopové práce. Gabionová zeď nejvíce odpovídá tvaru původní opěrné zdi.

Nejhorší variantou je tížná zeď, která je nejtěžší a nejdražší. Naopak její výhodou je malý objem výkopových prací, což lze dobře využít v zastavěných oblastech a ve stísněných místech, jako například podél silničních komunikací.

4.6. Celkové zhodnocení

V první variantě jsem posuzovala tížnou opěrnou zeď. Došla jsem k závěru, že tato varianta je v mnoha ohledech málo vyhovující. Tato opěrná zeď je těžká, tudíž je vhodná pro lokality s dostatečně únosným podložím. Dále je tato konstrukce drahá, kvůli velké spotřebě materiálu. Naproti tomu jejími výhodami jsou zejména malý objem výkopových prací a nenáročnost na vyztužení.

Ve druhé variantě jsem posuzovala úhlovou opěrnou zeď. Tato varianta je vyhovující v mnoha ohledech. Konstrukce úhlové zdi je sice velmi složitá na výrobu, zejména na výztuž, ale právě proto lze vytvořit štíhlé a lehké konstrukce, které jsou vhodné i do méně únosného podloží. Díky tomu, že využívá část zadržovaného horninového prostředí ke své vlastní stabilitě, je tato zeď i svah, který podpírá, více stabilní než u dalších variant. Cenově je tato konstrukce o 27,3 % levnější než tížná zeď a o 47,8 % dražší než gabionová zeď. Její velkou a podstatnou nevýhodou je velký objem výkopových prací, který byl o 40,2 % větší než u tížné zdi a 31,0 % větší než u gabionové zdi.

Program GEO 5 také nabízí řešení úhlové zdi spojené s kotvením. Tato kombinace nám umožní navrhnout úhlovou zeď s kratším vyložení a ušetřit část výkopových prací a snížit spotřebu materiálu.

Jako třetí posuzovaná varianta byla opěrná zeď z gabionů. V mnoha ohledech se podobá tížné opěrné zdi. Rozdílem je zejména způsob výstavby a její přizpůsobivost terénu. Tato konstrukce se ukázala jako nejlevnější a nejméně kopíruje tvar původní opěrné zdi. Další výhodou je použití místních materiálů na výplň gabionových košů, ale zároveň se na výplň kladou vysoké nároky, zejména na její ukládání do košů (vysoká pracnost). V závislosti na kvalitě ukládání výplně do košů se může doba výstavby zdi prodloužit. Jinak jde o poměrně jednoduchou stavbu.

5. Závěr

Opěrné zdi jsou geotechnické konstrukce, které jsou ve vzájemném spolupůsobení s horninovým prostředím. Pomáhají nám přizpůsobit krajinu podle našich potřeb a jsou součástí mnoha inženýrských oborů. Navrhování opěrných zdí není jednoduchou disciplínou. Prvním krokem k vytvoření návrhu je určení stěžejních parametrů konstrukce. Následně se vytvoří orientační návrh, který je třeba posoudit. Na základě posudků se návrh přetvoří nebo upraví do požadované podoby a znovu se posoudí.

Hlavní náplní této bakalářské práce bylo provedení třech variant návrhu nové opěrné zdi, jejich posouzení a následné srovnání. Varianty návrhu opěrné zdi byly navrženy a posouzeny v softwaru GEO 5 v modulech Tížná zeď, Úhlová zeď, Gabion a Stabilita svahu. Zásadními parametry pro návrh nové zdi byly parametry zdi stávající, především její výška a skladba horninového prostředí, ve kterém byla umístěna. Všechny návrhy jsou posuzovány dle metodiky výpočtu podle EN 1997 s použitím 2. NP – redukce zatížení a odporu. Návrhová situace je zvolena trvalá, kdy se prokazuje bezpečné navržení konstrukce po celou dobu její životnosti.

Cílem této bakalářské práce bylo porovnat různé druhy opěrných zdí, konkrétně tížné, úhlové a gabionové opěrné zdi, a analyzovat jejich výhody a nevýhody. Po zpracování praktické části bakalářské práce jsem došla k závěru, že z mnou navržených variant opěrné zdi je z celkového posouzení, provedené pomocí bodování, nejefektivnější a nejpríznivější konstrukce úhlové zdi.

Pokud bychom neměli prostor na výstavbu úhlové zdi, tak druhou nejefektivnější konstrukcí ze zmiňovaných návrhů vychází gabionová zeď. Oproti tížné zdi je lehčí, cenově dostupnější a konstrukčně jednodušší.

Existuje mnoho různých způsobů, jak zajistit horninový masív. Kromě tížné, úhlové a gabionové opěrné zdi, můžeme navrhovat například vetknuté stěny, vyztužené svahy, záporové a další pažící konstrukce, kotvení a hřebíkování horninového masívu, kombinace opěrných zdí s kotvením atd.

Seznam použité literatury

- [1] TURČEK, Peter a Ivan SLÁVIK. *Zakladanie stavieb*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2002. Edícia skript. ISBN 80-227-1699-5.
- [2] MASOPUST, Jan. *Zakládání staveb 2*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2016. ISBN 978-80-01-05938-8.
- [3] ROZSYPAL, Alexandr. *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. Bratislava: Jaga, 2001. ISBN 80-889-0544-3.
- [4] HULLA, Jozef a Peter TURČEK. *Zakladanie stavieb*. Bratislava: Jaga group, 1998. ISBN 80-889-0505-2.
- [5] MASOPUST, Jan. *Navrhování základových a pažicích konstrukcí: příručka k ČSN EN 1997*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2012. ISBN 978-80-87438-31-2.
- [6] TURČEK, Peter a Jozef HULLA. *Zakladanie stavieb*. 2. rozš. a dopl. vyd. Bratislava: Jaga group, 2004. ISBN 80-889-0599-0.
- [7] PROCHÁZKA, Jaroslav a Jiří ŠMEJKAL. *Betonové základové a opěrné konstrukce*. V Praze: České vysoké učení technické, 2017. ISBN 978-80-01-06128-2.
- [8] MASOPUST, Jan. *Speciální zakládání staveb: 2.díl*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-720-4489-3.
- [9] Zemní tlaky. *Geotechnici* [online]. Ostrava: VŠB, 2009 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.geotechnici.cz/wp-content/uploads/2012/08/ZS-cviko-07.pdf>
- [10] 165 – Opěrné stěny L+T. *PREFA ŽATEC, s.r.o.* [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <http://www.prefazatec.cz/cz/vyrobní-program/dílce-prumyslove-a-obcanske-vystavby/165--operne-steny-l t>
- [11] Opěrné zdi geostone wall systems [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.kb-blok.cz/fs/66a40ccb-cbdf-11e4-a112-00155d09279a-ggws-cz-publikace.pdf>
- [12] IM-stav Praha s.r.o.: Provádění staveb [online]. 2009 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <http://www.im-stav.cz/reference/2/0/vystavba-nove-operne-zdi-v-praze-4-podoli-60.html>

Seznam obrázků

Obr. 1: Vzorový návrh tížné zdi [1]	12
Obr. 2: Tížná zeď (foto autor)	13
Obr. 3: Vzorový návrh úhlové zdi [1]	14
Obr. 4: Úhlová zeď [12]	16
Obr. 5: Zárubní zeď [4]	17
Obr. 6: Gabiony (foto autor)	18
Obr. 7: Vetknutá stěna	20
Obr. 8: Posouzení únosnosti základové půdy [6]	22
Obr. 9: Posouzení na pootočení [6]	23
Obr. 10: Posouzení na překlopení [6]	24
Obr. 11: Posouzení na posunutí [6]	25
Obr. 12: Posouzení stability svahu [6]	25
Obr. 13: Zemní tlaky [9]	26
Obr. 14: Geotechnický monitoring opěrné zdi [3]	27
Obr. 15: Stávající opěrná zeď + schéma průzkumného vrtu	33
Obr. 16: Návrh geometrie tížné zdi	35
Obr. 17: Návrh geometrie úhlové zdi	36
Obr. 18: Návrh geometrie gabionové zdi	37

Seznam tabulek

Tabulka 1: Dílčí součinitele zatížení γF nebo účinků zatížení γE	30
Tabulka 2: Dílčí součinitele parametrů základové půdy γM	30
Tabulka 3: Vstupní parametry doporučené na základě geologického průzkumu	34
Tabulka 4: Objemy jednotlivých konstrukcí	38
Tabulka 5: Přibližné ceny jednotlivých konstrukcí	40
Tabulka 6: Napětí v základové spáře jednotlivých návrhů	41
Tabulka 7: Hmotnosti 1 bm konstrukce	43
Tabulka 8: Stabilita svahu jednotlivých návrhů	43
Tabulka 9: Celkové zhodnocení hledisek opěrných zdí	46

Seznam grafů

Graf 1: Grafické znázornění celkového objemu prací	38
Graf 2: Grafické znázornění ceny jednotlivých konstrukcí.....	40
Graf 3: Grafické znázornění max. napětí vzhledem k únosnosti zákl. půdy [kPa]	41
Graf 4: Grafické znázornění využití stability svahu konstrukcí	43
Graf 5: Grafické znázornění výsledných momentů k posouzení na překlopení	44
Graf 6: Grafické znázornění využití konstrukcí na překlopení	44
Graf 7: Grafické znázornění výsledných sil k posouzení na posunutí	45
Graf 8: Grafické znázornění využití konstrukcí na posunutí	45

Seznam příloh

- Příloha č. 1: Návrh tížné zdi – grafické výstupy z programu GEO 5
- Příloha č. 2: Návrh úhlové zdi – grafické výstupy z programu GEO 5
- Příloha č. 3: Návrh gabionové zdi – grafické výstupy z programu GEO

Příloha č. 1

Návrh tížné zdi

grafické výstupy z programu GEO 5

Výpočet tížné zdi**Vstupní data****Projekt**

Akce : Návrh tížné zdi
 Část : Řez A-A'
 Vypracoval : Kožušníková Denisa
 Datum : 08.04.2019

Nastavení

(zadané pro aktuální úlohu)

Materiály a normy

Betonové konstrukce : EN 1992-1-1 (EC2)
 Součinitele EN 1992-1-1 : standardní
 Zděná (kamenná) zeď : EN 1996-1-1 (EC6)

Výpočet zdí

Výpočet aktivního tlaku : Coulomb (ČSN 730037)
 Výpočet pasivního tlaku : Caquot-Kerisel (ČSN 730037)
 Výpočet zemetřesení : Mononobe-Okabe
 Tvar zemního klínu : počítat šikmý
 Dovolená excentricita : 0,333
 Metodika posouzení : výpočet podle EN 1997
 Návrhový přístup : 2 - redukce zatížení a odporu

Součinitele redukce zatížení (F)			
Trvalá návrhová situace			
		Nepříznivé	Příznivé
Stálé zatížení :	$\gamma_G =$	1,35 [-]	1,00 [-]
Proměnné zatížení :	$\gamma_Q =$	1,50 [-]	0,00 [-]
Zatížení vodou :	$\gamma_w =$	1,35 [-]	

Součinitele redukce odporu (R)			
Trvalá návrhová situace			
Součinitel redukce odporu na překlopení :	$\gamma_{Rv} =$	1,40 [-]	
Součinitel redukce odporu na posunutí :	$\gamma_{Rh} =$	1,10 [-]	
Součinitel redukce odporu základové půdy :	$\gamma_{Re} =$	1,40 [-]	

Kombinační součinitele pro proměnná zatížení			
Trvalá návrhová situace			
Součinitel kombinační hodnoty :	$\psi_0 =$	0,70 [-]	
Součinitel časté hodnoty :	$\psi_1 =$	0,50 [-]	
Součinitel kvazistálé hodnoty :	$\psi_2 =$	0,30 [-]	

Materiál konstrukce

Objemová tíha $\gamma = 23,00 \text{ kN/m}^3$
 Výpočet betonových konstrukcí proveden podle normy EN 1992-1-1 (EC2).

Beton : C 30/37

Válcová pevnost v tlaku $f_{ck} = 30,00 \text{ MPa}$
 Pevnost v tahu $f_{ctm} = 2,90 \text{ MPa}$

Ocel podélná : B500

Mez kluzu $f_{yk} = 500,00 \text{ MPa}$



Pouze pro nekomerční využití

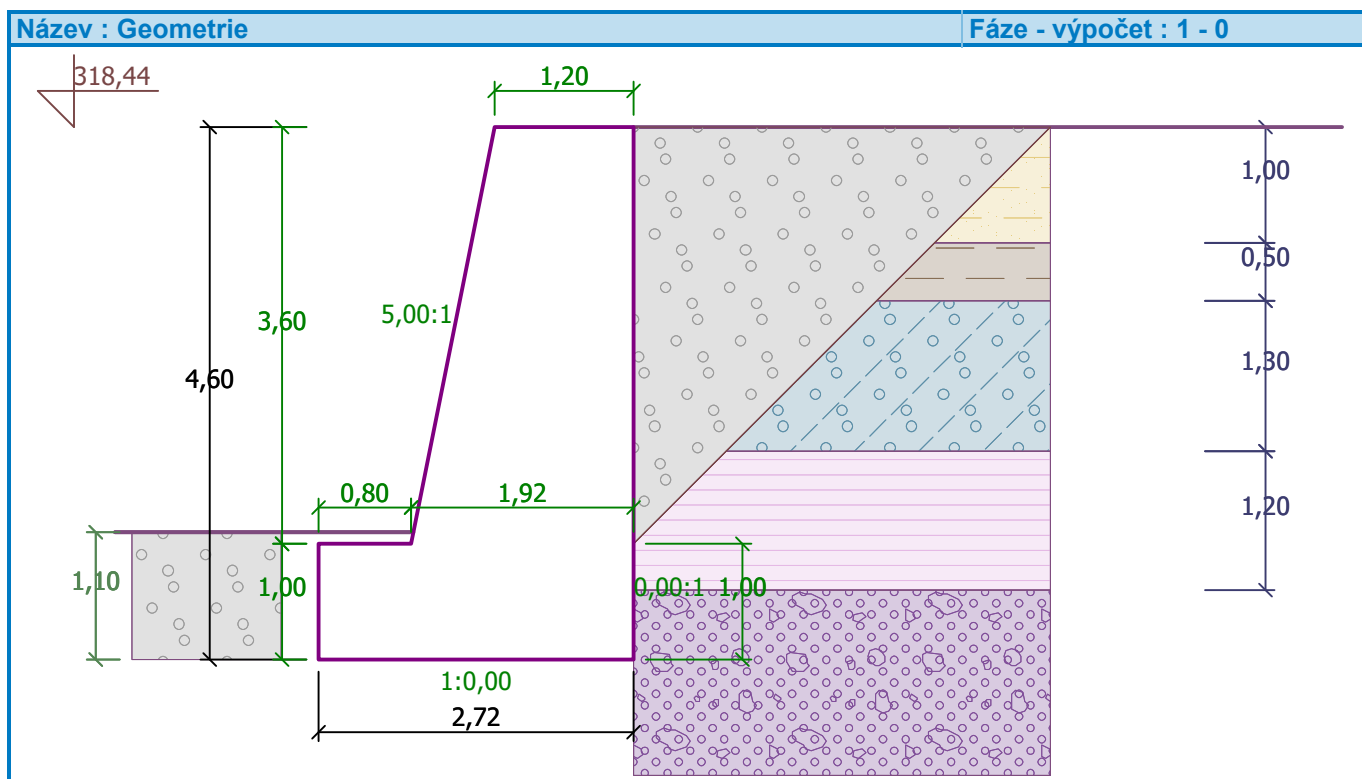


Geometrie konstrukce

Číslo	Pořadnice X [m]	Hloubka Z [m]
1	0,00	0,00
2	0,00	3,60
3	0,00	4,60
4	-2,72	4,60
5	-2,72	3,60
6	-1,92	3,60
7	-1,20	0,00

Počátek [0,0] je v nejhořejším pravém bodu zdi.

Plocha řezu zdi = 8,34 m².



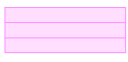
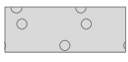
Základní parametry zemin

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]	γ_{su} [kN/m ³]	δ [°]
1	Navážky písčito až jílovitoklastické		30,00	0,00	19,00	9,00	30,00
2	Navážky jílovitoklastické		17,00	8,00	21,00	11,00	8,00
3	Hlinitá suť s drobovými úlomky;		30,00	0,00	19,00	9,00	30,00
4	Droba R5		33,00	20,00	21,00	11,00	18,00



Pouze pro nekomerční využití



Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]	γ_{su} [kN/m ³]	δ [°]
5	Břidlice a droby R6		26,00	10,00	21,00	11,00	13,00
6	Štěrka		33,00	0,00	21,00	11,00	30,00

Pro výpočet tlaku v klidu jsou všechny zeminy zadány jako nesoudržné.

Parametry zemín

Navážky písčito až jílovitoklastické

Objemová tíha : $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 30,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
 Třecí úhel kce-zemina : $\delta = 30,00^\circ$
 Zemina : nesoudržná
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 19,00 \text{ kN/m}^3$

Navážky jílovitoklastické

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 17,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 8,00 \text{ kPa}$
 Třecí úhel kce-zemina : $\delta = 8,00^\circ$
 Zemina : nesoudržná
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Hlinitá suť s drobovými úlomky;

Objemová tíha : $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 30,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
 Třecí úhel kce-zemina : $\delta = 30,00^\circ$
 Zemina : nesoudržná
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 19,00 \text{ kN/m}^3$

Droba R5

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 33,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 20,00 \text{ kPa}$
 Třecí úhel kce-zemina : $\delta = 18,00^\circ$
 Zemina : nesoudržná
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Břidlice a droby R6

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 26,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 10,00 \text{ kPa}$
 Třecí úhel kce-zemina : $\delta = 13,00^\circ$



Pouze pro nekomerční využití



Zemina : nesoudržná
Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{\text{sat}} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Štěrk

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
Napjatost : efektivní
Úhel vnitřního tření : $\varphi_{\text{ef}} = 33,00^\circ$
Soudržnost zeminy : $c_{\text{ef}} = 0,00 \text{ kPa}$
Třecí úhel kce-zemina : $\delta = 30,00^\circ$
Zemina : nesoudržná
Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{\text{sat}} = 21,00 \text{ kN/m}^3$




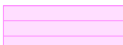

Zásyp za konstrukcí

Přiřazená zemina : Štěrk

Geologický profil a přiřazení zemín**Informace o umístění**

Kóta povrchu = 318,44 m

Geologický profil a přiřazení zemín

Číslo	Mocnost vrstvy t [m]	Hloubka z [m]	Nadm. výška [m]	Přiřazená zemina	Vzorek
1	1,00	0,00 .. 1,00	318,44 .. 317,44	Navážky písčito až jílovitoklastické	
2	0,50	1,00 .. 1,50	317,44 .. 316,94	Navážky jílovitoklastické	
3	1,30	1,50 .. 2,80	316,94 .. 315,64	Hlinitá suť s drobovými úlomky;	
4	1,20	2,80 .. 4,00	315,64 .. 314,44	Břidlice a droby R6	
5	-	4,00 .. ∞	314,44 .. -	Droba R5	

Založení

Typ založení : zemina - geologický profil

Tvar terénu

Terén za konstrukcí je rovný.

Vliv vody

Hladina podzemní vody je pod úrovní konstrukce.

Odpor na líci konstrukce

Odpor na líci konstrukce: klidový
Zemina na líci konstrukce - Štěrk
Výška zeminy před zdí

$h = 1,10 \text{ m}$

Terén před konstrukcí je rovný.

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

Posouzení čís. 1**Spočtené síly působící na konstrukci**

Název	F_{hor} [kN/m]	Působíště z [m]	F_{vert} [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh.- zed'	0,00	-1,96	191,73	1,74	1,000	1,000	1,350
Odpor na líci	-5,78	-0,37	0,02	0,76	1,000	1,000	1,350
Tlak v klidu	101,17	-1,53	0,00	2,72	1,350	1,350	1,000

Posouzení celé zdi**Posouzení na překlopení**Moment vzdorující $M_{res} = 238,50$ kNm/mMoment klopící $M_{ovr} = 207,31$ kNm/m**Zed' na překlopení VYHOVUJE****Posouzení na posunutí**Vodor. síla vzdorující $H_{res} = 137,21$ kN/mVodor. síla posunující $H_{act} = 130,80$ kN/m**Zed' na posunutí VYHOVUJE****Celkové posouzení - ZED' VYHOVUJE**

Maximální napětí v základové spáře : 145,23 kPa

Únosnost základové půdy**Síly působící ve středu základové spáry**

Číslo	Moment [kNm/m]	Norm. síla [kN/m]	Pos. síla [kN/m]	Excentricita [-]	Napětí [kPa]
1	53,56	258,86	93,36	0,076	112,25
2	134,19	191,75	130,80	0,257	145,23

Normové síly působící ve středu základové spáry (výpočet sedání)

Číslo	Moment [kNm/m]	Norm. síla [kN/m]	Pos. síla [kN/m]
1	79,90	191,75	95,39

Posouzení únosnosti základové půdy

Tvar napětí v základové půdě : lichoběžník

Posouzení excentricityMax. excentricita normálové síly $e = 0,257$ Maximální dovolená excentricita $e_{alw} = 0,333$ **Excentricita normálové síly VYHOVUJE****Posouzení únosnosti základové spáry**Únosnost základové půdy $R = 328,62$ kPaSoučinitel redukce odporu základové půdy $\gamma_{Rv} = 1,40$ Max. napětí v základové spáře $\sigma = 193,64$ kPaNávrhová únosnost základové půdy $R_d = 234,73$ kPa**Únosnost základové půdy VYHOVUJE****Celkové posouzení - únosnost základové půdy VYHOVUJE**

Pouze pro nekomerční využití



Dimenzace čís. 1**Spočtené síly působící na konstrukci**

Název	F_{hor} [kN/m]	Působíště z [m]	F_{vert} [kN/m]	Působíště x [m]	Výpočtový koeficient
Tíh.- zed'	0,00	-1,96	191,73	1,74	1,000
Odpor na líci	-5,78	-0,37	0,02	0,76	1,000
Tlak v klidu	101,17	-1,53	0,00	2,72	1,000

Posouzení předního výstupku zdi

Vyztužení a rozměry průřezu:

10 ks profil 14,0 mm, krytí 40,0 mm

Šířka průřezu = 1,00 m

Výška průřezu = 1,00 m

Stupeň vyztužení

$$\rho = 0,16 \% > 0,15 \% = \rho_{min}$$

Poloha neutrální osy

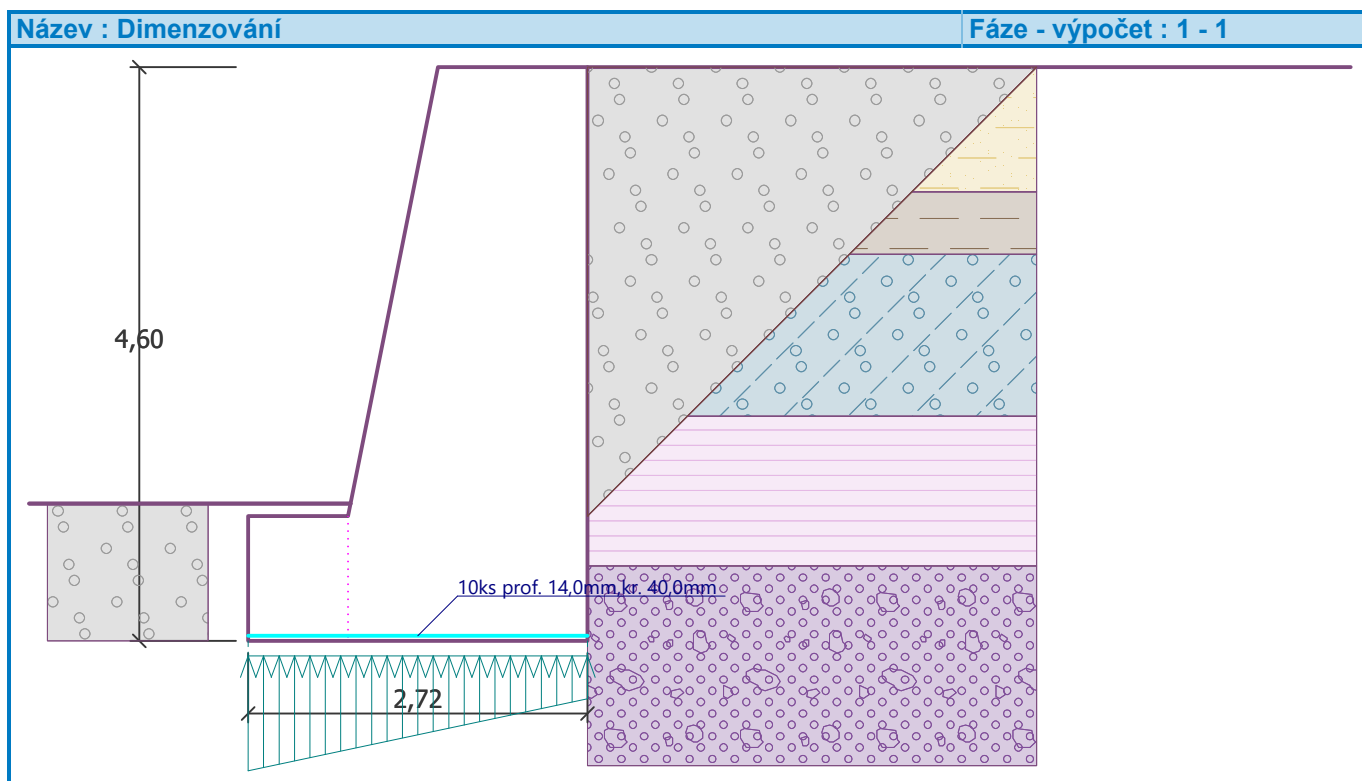
$$x = 0,04 \text{ m} < 0,59 \text{ m} = x_{max}$$

Posouvající síla na mezi únosnosti

$$V_{Rd} = 321,67 \text{ kN} > 82,27 \text{ kN} = V_{Ed}$$

Moment na mezi únosnosti

$$M_{Rd} = 626,64 \text{ kNm} > 34,27 \text{ kNm} = M_{Ed}$$

Průřez VYHOVUJE.**Výpočet stability svahu****Výsledky (Fáze budování 1)****Výpočet 1****Kruhová smyková plocha**

Pouze pro nekomerční využití



Parametry smykové plochy

Střed :	x =	-1,91 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	-42,38 [°]
	z =	319,01 [m]		$\alpha_2 =$	84,06 [°]
Poloměr :	R =	5,51 [m]	Smyková plocha po optimalizaci.		

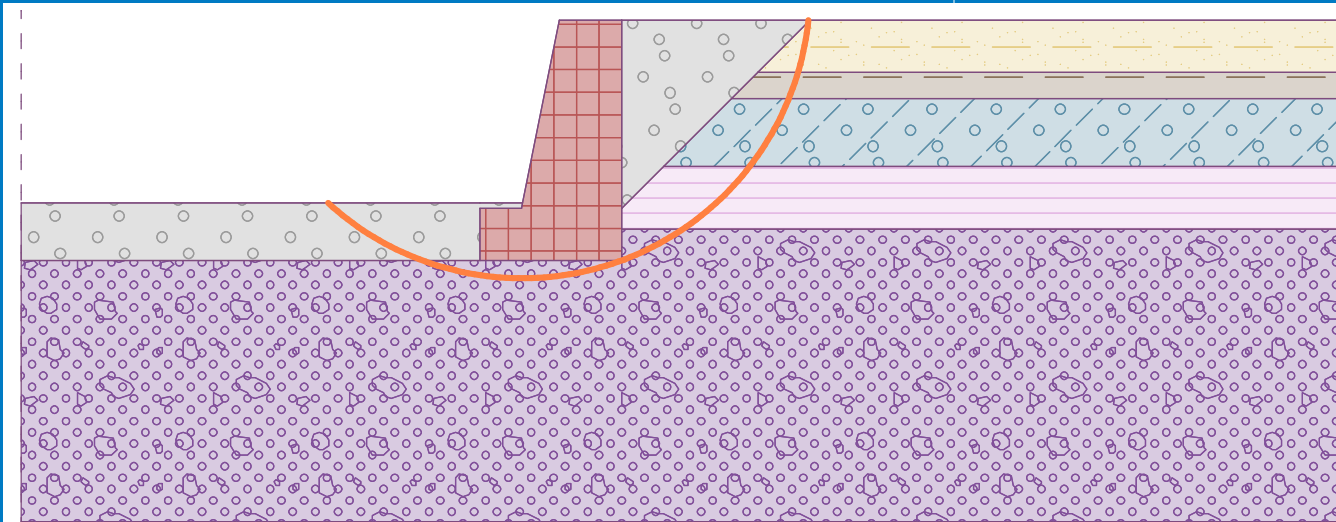
Posouzení stability svahu (Bishop)Sumace aktivních sil : $F_a = 194,47 \text{ kN/m}$ Sumace pasivních sil : $F_p = 478,12 \text{ kN/m}$ Moment sesouvající : $M_a = 1071,54 \text{ kNm/m}$ Moment vzdorující : $M_p = 2394,93 \text{ kNm/m}$

Využití : 44,7 %

Stabilita svahu VYHOVUJE

Název : Výpočet

Fáze - výpočet : 1 - 1



Příloha č. 2

Návrh úhlové zdi

grafické výstupy z programu GEO 5

Výpočet úhlové zdi**Vstupní data****Projekt**

Akce : Návrh úhlové zdi
 Část : Řez A-A'
 Vypracoval : Kožušníková Denisa
 Datum : 08.04.2019

Nastavení

(zadané pro aktuální úlohu)

Materiály a normy

Betonové konstrukce : EN 1992-1-1 (EC2)
 Součinitele EN 1992-1-1 : standardní

Výpočet zdi

Výpočet aktivního tlaku : Coulomb (ČSN 730037)
 Výpočet pasivního tlaku : Caquot-Kerisel (ČSN 730037)
 Výpočet zemetřesení : Mononobe-Okabe
 Tvar zemního klínu : počítat šikmý
 Výstupek základu : výstupek uvažovat jako šikmou základovou spáru
 Dovolená excentricita : 0,333
 Metodika posouzení : výpočet podle EN 1997
 Návrhový přístup : 2 - redukce zatížení a odporu

Součinitele redukce zatížení (F)			
Trvalá návrhová situace			
		Nepříznivé	Příznivé
Stálé zatížení :	$\gamma_G =$	1,35 [-]	1,00 [-]
Proměnné zatížení :	$\gamma_Q =$	1,50 [-]	0,00 [-]
Zatížení vodou :	$\gamma_w =$	1,35 [-]	

Součinitele redukce odporu (R)			
Trvalá návrhová situace			
Součinitel redukce odporu na překlopení :	$\gamma_{Rv} =$	1,40 [-]	
Součinitel redukce odporu na posunutí :	$\gamma_{Rh} =$	1,10 [-]	
Součinitel redukce odporu základové půdy :	$\gamma_{Re} =$	1,40 [-]	

Kombinační součinitele pro proměnná zatížení			
Trvalá návrhová situace			
Součinitel kombinační hodnoty :	$\psi_0 =$	0,70 [-]	
Součinitel časté hodnoty :	$\psi_1 =$	0,50 [-]	
Součinitel kvazistálé hodnoty :	$\psi_2 =$	0,30 [-]	

Materiál konstrukce

Objemová tíha $\gamma = 23,00 \text{ kN/m}^3$
 Výpočet betonových konstrukcí proveden podle normy EN 1992-1-1 (EC2).

Beton : C 30/37

Válcová pevnost v tlaku $f_{ck} = 30,00 \text{ MPa}$
 Pevnost v tahu $f_{ctm} = 2,90 \text{ MPa}$

Ocel podélná : B500

Mez kluzu $f_{yk} = 500,00 \text{ MPa}$



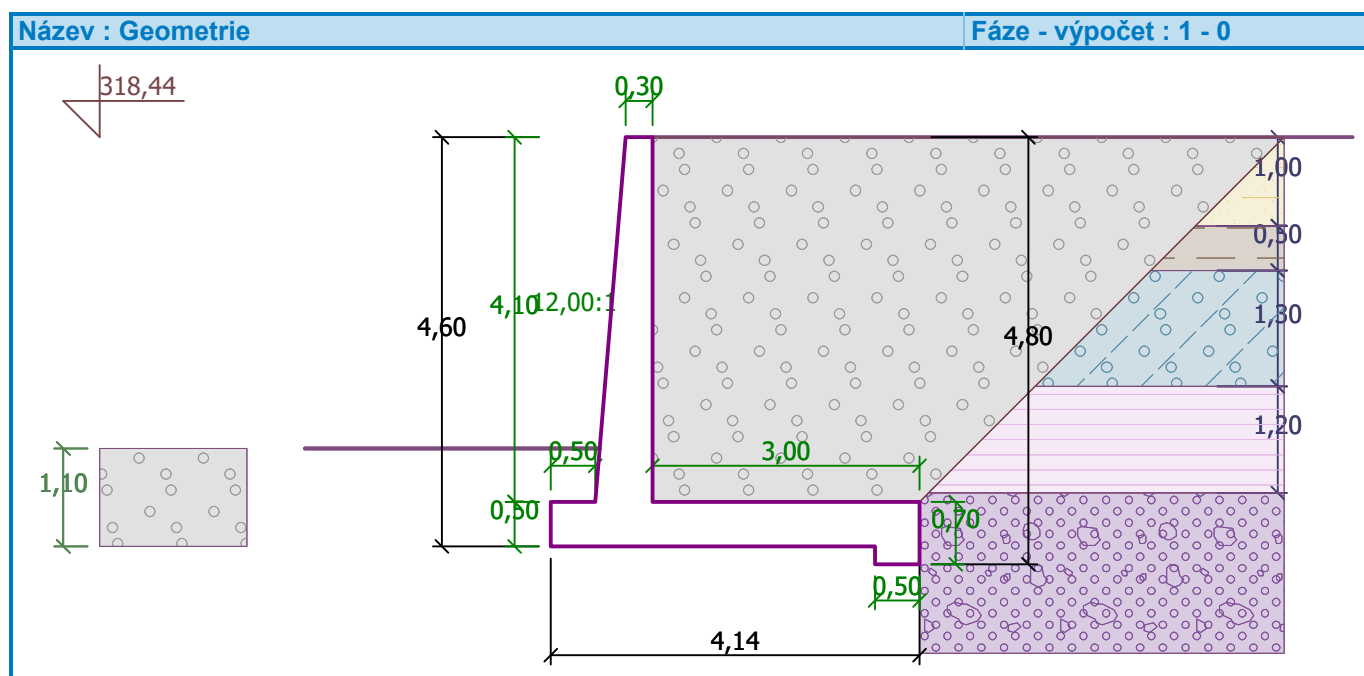
Pouze pro nekomerční využití



Geometrie konstrukce

Číslo	Pořadnice X [m]	Hloubka Z [m]
1	0,00	0,00
2	0,00	4,10
3	3,00	4,10
4	3,00	4,60
5	3,00	4,80
6	2,50	4,80
7	2,50	4,60
8	-1,14	4,60
9	-1,14	4,10
10	-0,64	4,10
11	-0,30	0,00

Počátek [0,0] je v nejhořejším pravém bodu zdi.
Plocha řezu zdi = 4,10 m².



Základní parametry zemin

Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]	γ_{su} [kN/m ³]	δ [°]
1	Navážky písčito až jílovitoklastické		30,00	0,00	19,00	9,00	30,00
2	Navážky jílovitoklastické		17,00	8,00	21,00	11,00	8,00
3	Hlinitá suť s drobovými úlomky;		30,00	0,00	19,00	9,00	30,00
4	Droba R5		33,00	20,00	21,00	11,00	18,00



Pouze pro nekomerční využití



Číslo	Název	Vzorek	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]	γ_{su} [kN/m ³]	δ [°]
5	Břidlice a droby R6		26,00	10,00	21,00	11,00	13,00
6	Štěrk		33,00	0,00	21,00	11,00	30,00

Pro výpočet tlaku v klidu jsou všechny zeminy zadány jako nesoudržné.

Parametry zemin

Navážky písčito až jílovitoklastické

Objemová tíha : $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 30,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
 Třecí úhel kce-zemina : $\delta = 30,00^\circ$
 Zemina : nesoudržná
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 19,00 \text{ kN/m}^3$

Navážky jílovitoklastické

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 17,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 8,00 \text{ kPa}$
 Třecí úhel kce-zemina : $\delta = 8,00^\circ$
 Zemina : nesoudržná
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Hlinitá suť s drobovými úlomky;

Objemová tíha : $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 30,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
 Třecí úhel kce-zemina : $\delta = 30,00^\circ$
 Zemina : nesoudržná
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 19,00 \text{ kN/m}^3$

Droba R5

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 33,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 20,00 \text{ kPa}$
 Třecí úhel kce-zemina : $\delta = 18,00^\circ$
 Zemina : nesoudržná
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Břidlice a droby R6

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{ef} = 26,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{ef} = 10,00 \text{ kPa}$
 Třecí úhel kce-zemina : $\delta = 13,00^\circ$



Pouze pro nekomerční využití



Zemina : nesoudržná
Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{\text{sat}} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Štěrk

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{\text{ef}} = 33,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{\text{ef}} = 0,00 \text{ kPa}$
 Třecí úhel kce-zemina : $\delta = 30,00^\circ$
 Zemina : nesoudržná
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{\text{sat}} = 21,00 \text{ kN/m}^3$




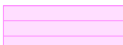

Zásyp za konstrukcí

Přiřazená zemina : Štěrk

Geologický profil a přiřazení zemín**Informace o umístění**

Kóta povrchu = 318,44 m

Geologický profil a přiřazení zemín

Číslo	Mocnost vrstvy t [m]	Hloubka z [m]	Nadm. výška [m]	Přiřazená zemina	Vzorek
1	1,00	0,00 .. 1,00	318,44 .. 317,44	Navážky písčito až jílovitoklastické	
2	0,50	1,00 .. 1,50	317,44 .. 316,94	Navážky jílovitoklastické	
3	1,30	1,50 .. 2,80	316,94 .. 315,64	Hlinitá suť s drobovými úlomky;	
4	1,20	2,80 .. 4,00	315,64 .. 314,44	Břidlice a droby R6	
5	-	4,00 .. ∞	314,44 .. -	Droba R5	

Založení

Typ založení : zemina - geologický profil

Tvar terénu

Terén za konstrukcí je rovný.

Vliv vody

Hladina podzemní vody je pod úrovní konstrukce.

Odpor na líci konstrukce

Odpor na líci konstrukce: klidový
 Zemina na líci konstrukce - Štěrk
 Výška zeminy před zdí

$h = 1,10 \text{ m}$

Terén před konstrukcí je rovný.

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá
 Zed' se nemůže přemístit, je počítána na zatížení tlakem v klidu.



Pouze pro nekomerční využití



Posouzení čís. 1**Spočtené síly působící na konstrukci**

Název	F_{hor} [kN/m]	Působíště z [m]	F_{vert} [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh.- zed'	0,00	-1,21	94,33	1,56	1,000	1,000	1,350
Odpor na líci	-5,77	-0,37	0,33	0,50	1,000	1,000	1,350
Tíh.- zemní klín	0,00	-2,55	258,30	2,64	1,000	1,000	1,350
Tlak v klidu	110,16	-1,40	0,00	4,14	1,350	1,350	1,000

Posouzení celé zdi**Posouzení na překlopení**Moment vzdorující $M_{res} = 592,77$ kNm/mMoment klopící $M_{ovr} = 206,09$ kNm/m**Zed' na překlopení VYHOVUJE****Posouzení na posunutí**Vodor. síla vzdorující $H_{res} = 275,31$ kN/mVodor. síla posunující $H_{act} = 125,75$ kN/m**Zed' na posunutí VYHOVUJE****Celkové posouzení - ZEĎ VYHOVUJE**

Maximální napětí v základové spáře : 119,33 kPa

Únosnost základové půdy**Síly působící ve středu základové spáry**

Číslo	Moment [kNm/m]	Norm. síla [kN/m]	Pos. síla [kN/m]	Excentricita [-]	Napětí [kPa]
1	28,02	480,88	79,05	0,014	119,33
2	121,43	359,44	125,44	0,082	103,56

Normové síly působící ve středu základové spáry (výpočet sedání)

Číslo	Moment [kNm/m]	Norm. síla [kN/m]	Pos. síla [kN/m]
1	63,60	357,58	87,02

Posouzení únosnosti základové půdy

Tvar napětí v základové půdě : obdélník

Posouzení excentricityMax. excentricita normálové síly $e = 0,082$ Maximální dovolená excentricita $e_{alw} = 0,333$ **Excentricita normálové síly VYHOVUJE****Posouzení únosnosti základové spáry**Únosnost základové půdy $R = 328,62$ kPaSoučinitel redukce odporu základové půdy $\gamma_{Rv} = 1,40$ Max. napětí v základové spáře $\sigma = 119,33$ kPaNávrhová únosnost základové půdy $R_d = 234,73$ kPa**Únosnost základové půdy VYHOVUJE****Celkové posouzení - únosnost základové půdy VYHOVUJE**

Pouze pro nekomerční využití



Dimenzace čís. 1**Posouzení dříku - přední výztuž****Spočtené síly působící na konstrukci**

Název	F_{hor} [kN/m]	Působíště z [m]	F_{vert} [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. moment	Koef. norm.sila	Koef. pos.sila
Tíh.- zed'	0,00	-1,80	44,38	0,40	1,000	1,350	1,000
Odpor na líci	-1,71	-0,20	0,31	0,02	1,000	1,350	1,000
Tlak v klidu	89,43	-1,29	0,00	0,64	1,350	1,000	1,350

Posouzení dříku - přední výztuž

Přední výztuž není nutná.

Posouzení dříku - zadní výztuž**Spočtené síly působící na konstrukci**

Název	F_{hor} [kN/m]	Působíště z [m]	F_{vert} [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. moment	Koef. norm.sila	Koef. pos.sila
Tíh.- zed'	0,00	-1,80	44,38	0,40	1,000	1,350	1,000
Odpor na líci	-1,71	-0,20	0,31	0,02	1,000	1,350	1,000
Tlak v klidu	89,43	-1,29	0,00	0,64	1,350	1,000	1,350

Posouzení dříku - zadní výztuž

Posouzení zdi v pracovní spáře 4,10 m od koruny zdi

Vyztužení a rozměry průřezu

12 ks profil 10,0 mm, krytí 40,0 mm

Šířka průřezu = 1,00 m

Výška průřezu = 0,64 m

Stupeň vyztužení $\rho = 0,16 \% > 0,15 \% = \rho_{min}$ Poloha neutrálné osy $x = 0,03 \text{ m} < 0,37 \text{ m} = x_{max}$ Posouvající síla na mezi únosnosti $V_{Rd} = 226,92 \text{ kN} > 119,02 \text{ kN} = V_{Ed}$ Moment na mezi únosnosti $M_{Rd} = 240,91 \text{ kNm} > 152,73 \text{ kNm} = M_{Ed}$ **Průřez VYHOVUJE.****Posouzení výstupku****Spočtené síly působící na konstrukci**

Název	F_{hor} [kN/m]	Působíště z [m]	F_{vert} [kN/m]	Působíště x [m]	Výpočtový koeficient
Tíh.- zed'	0,00	-1,21	94,33	1,56	1,350
Odpor na líci	-5,77	-0,37	0,33	0,50	1,350
Tíh.- zemní klín	0,00	-2,55	258,30	2,64	1,350
Tlak v klidu	110,16	-1,40	0,00	4,14	1,000

Posouzení výstupku

Vyztužení a rozměry průřezu

10 ks profil 10,0 mm, krytí 40,0 mm

Šířka průřezu = 1,00 m

Výška průřezu = 0,50 m

Stupeň vyztužení $\rho = 0,17 \% > 0,15 \% = \rho_{min}$ Poloha neutrálné osy $x = 0,02 \text{ m} < 0,28 \text{ m} = x_{max}$ 

Pouze pro nekomerční využití



Posouvající síla na mezi únosnosti $V_{Rd} = 187,06 \text{ kN} > 56,61 \text{ kN} = V_{Ed}$

Moment na mezi únosnosti $M_{Rd} = 152,46 \text{ kNm} > 14,20 \text{ kNm} = M_{Ed}$

Průřez VYHOVUJE.

Posouzení paty

Spočtené síly působící na konstrukci

Název	F_{hor} [kN/m]	Působíště z [m]	F_{vert} [kN/m]	Působíště x [m]	Výpočtový koeficient
Tíh.- zed'	0,00	-0,25	34,50	2,64	1,350
Tíh.- zemní klín	0,00	-2,55	258,30	2,64	1,350
Tlak v klidu	110,16	-1,40	0,00	4,14	1,000
Kontaktní napětí	0,00	0,00	-340,22	2,61	1,000

Posouzení paty

Vyztužení a rozměry průřezu

10 ks profil 10,0 mm, krytí 40,0 mm

Šířka průřezu = 1,00 m

Výška průřezu = 0,50 m

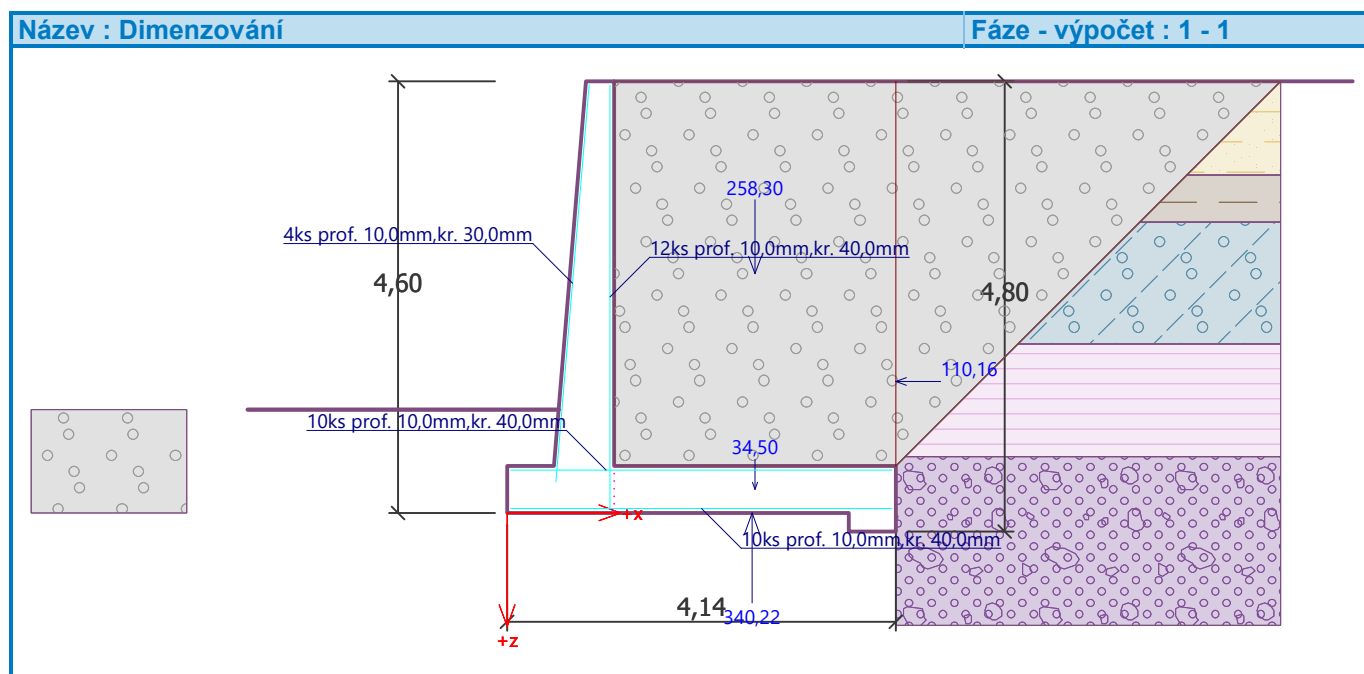
Stupeň vyztužení $\rho = 0,17 \% > 0,15 \% = \rho_{min}$

Poloha neutrálné osy $x = 0,02 \text{ m} < 0,28 \text{ m} = x_{max}$

Posouvající síla na mezi únosnosti $V_{Rd} = 187,06 \text{ kN} > 55,06 \text{ kN} = V_{Ed}$

Moment na mezi únosnosti $M_{Rd} = 152,46 \text{ kNm} > 93,25 \text{ kNm} = M_{Ed}$

Průřez VYHOVUJE.



Pouze pro nekomerční využití

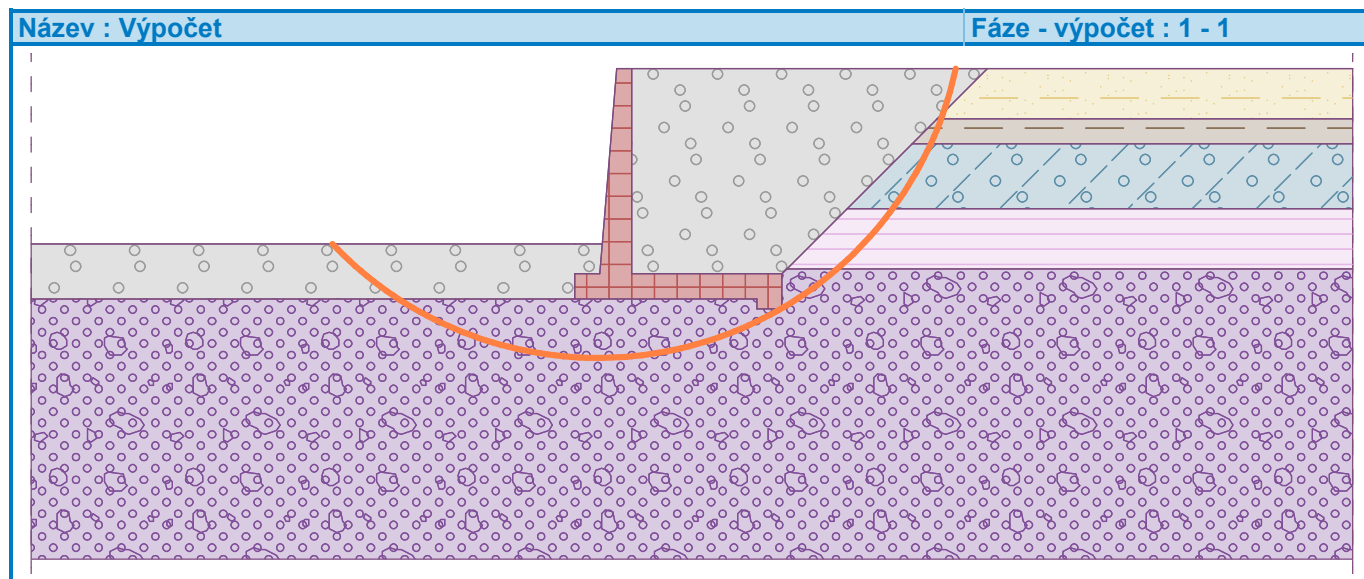


Výpočet stability svahu**Výsledky (Fáze budování 1)****Výpočet 1****Kruhová smyková plocha**

Parametry smykové plochy						
Střed :	x =	-0,68 [m]	Úhly :	$\alpha_1 =$	-46,52 [°]	
	z =	319,97 [m]		$\alpha_2 =$	77,92 [°]	
Poloměr :	R =	7,31 [m]				
Smyková plocha po optimalizaci.						

Posouzení stability svahu (Bishop)Sumace aktivních sil : $F_a = 253,96$ kN/mSumace pasivních sil : $F_p = 801,97$ kN/mMoment sesouvající : $M_a = 1856,48$ kNm/mMoment vzdorující : $M_p = 5329,44$ kNm/m

Využití : 34,8 %

Stabilita svahu VYHOVUJE

Příloha č. 3

Návrh gabionové zdi

grafické výstupy z programu GEO 5

Výpočet gabionu**Vstupní data****Projekt**

Akce : Návrh gabionové zdi
 Část : Řez A-A'
 Vypracoval : Kožušníková Denisa
 Datum : 08.04.2019

Nastavení

(zadané pro aktuální úlohu)

Výpočet zdí

Výpočet aktivního tlaku : Coulomb (ČSN 730037)
 Výpočet pasivního tlaku : Caquot-Kerisel (ČSN 730037)
 Výpočet zemětřesení : Mononobe-Okabe
 Tvar zemního klínu : počítat šikmý
 Dovolená excentricita : 0,333
 Metodika posouzení : výpočet podle EN 1997
 Návrhový přístup : 2 - redukce zatížení a odporu

Součinitele redukce zatížení (F)				
Trvalá návrhová situace				
		Nepříznivé		Příznivé
Stálé zatížení :	$\gamma_G =$	1,35	[-]	1,00 [-]
Proměnné zatížení :	$\gamma_Q =$	1,50	[-]	0,00 [-]
Zatížení vodou :	$\gamma_w =$	1,35	[-]	

Součinitele redukce odporu (R)				
Trvalá návrhová situace				
Součinitel redukce odporu na překlopení :	$\gamma_{Rv} =$	1,40	[-]	
Součinitel redukce odporu na posunutí :	$\gamma_{Rh} =$	1,10	[-]	
Součinitel redukce odporu základové půdy :	$\gamma_{Re} =$	1,40	[-]	
Součinitel redukce namáhání sítě :	$\gamma_{Rn1} =$	1,10	[-]	
Součinitel redukce spoje sítě :	$\gamma_{Rn2} =$	1,10	[-]	

Kombinační součinitele pro proměnná zatížení				
Trvalá návrhová situace				
Součinitel kombinační hodnoty :	$\psi_0 =$	0,70	[-]	
Součinitel časté hodnoty :	$\psi_1 =$	0,50	[-]	
Součinitel kvazistálé hodnoty :	$\psi_2 =$	0,30	[-]	

Materiály bloků - výplň

Číslo	Název	γ [kN/m ³]	ϕ [°]	c [kPa]
1	Materiál č. 1	19,00	30,00	0,00

Materiály bloků - pletivo

Číslo	Název	Pevnost sítě R_t [kN/m]	Vzdálenost svislých sítí v [m]	Únosnost čelního spoje R_s [kN/m]
1	Materiál č. 1	40,00	1,00	40,00



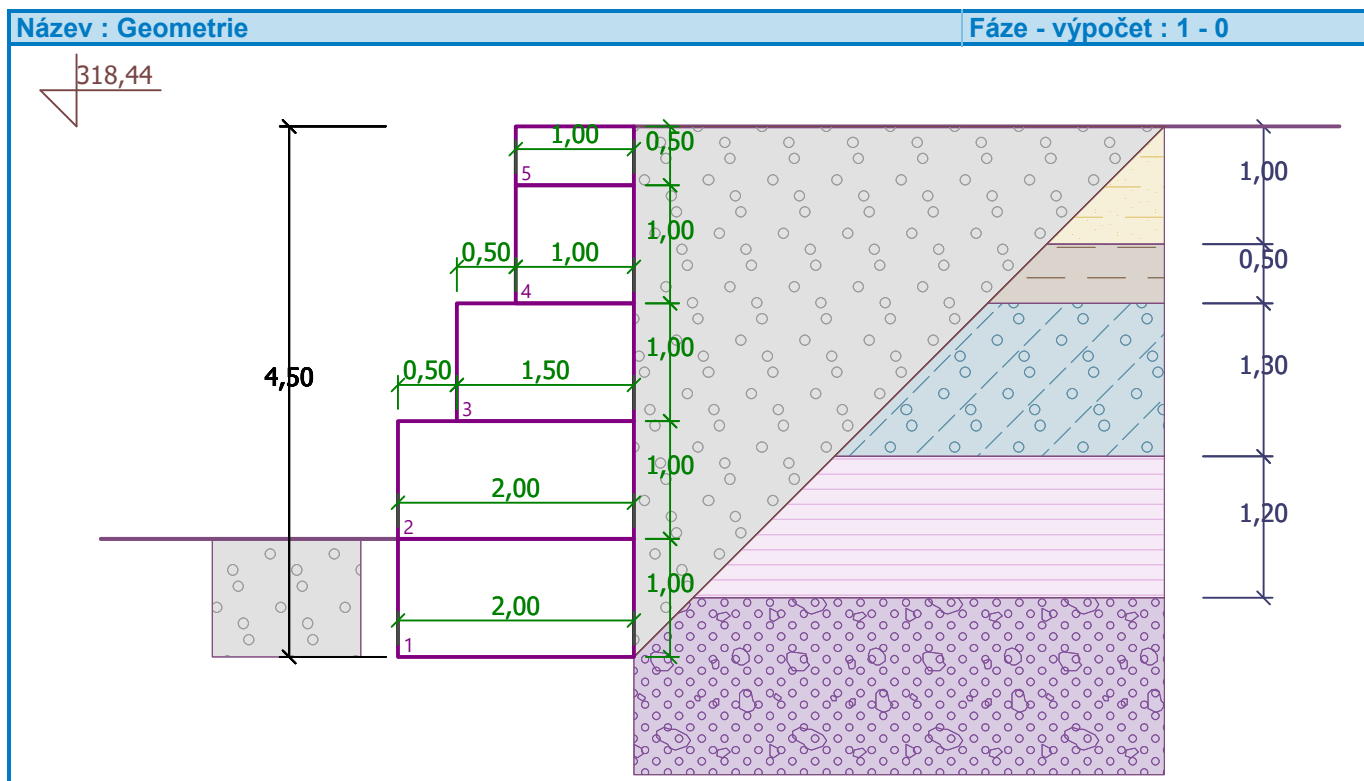
Pouze pro nekomerční využití



Geometrie konstrukce

Číslo	Šířka b [m]	Výška h [m]	Odskok a [m]	Materiál
5	1,00	0,50	0,00	Materiál č. 1
4	1,00	1,00	0,50	Materiál č. 1
3	1,50	1,00	0,50	Materiál č. 1
2	2,00	1,00	0,00	Materiál č. 1
1	2,00	1,00	-	Materiál č. 1

Sklon gabionu = 0,00 °
 Celková výška = 4,50 m
 Celk. objem zdi = 7,00 m³/m



Parametry zemín

Navážky písčito až jílovitoklastické

Objemová tíha : $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{\text{ef}} = 30,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{\text{ef}} = 0,00 \text{ kPa}$
 Třecí úhel kce-zemina : $\delta = 30,00^\circ$
 Zemina : nesoudržná
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{\text{sat}} = 19,00 \text{ kN/m}^3$

Navážky jílovitoklastické

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{\text{ef}} = 17,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{\text{ef}} = 8,00 \text{ kPa}$



Pouze pro nekomerční využití



Třecí úhel kce-zemina : $\delta = 8,00^\circ$
 Zemina : nesoudržná
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{\text{sat}} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Hlinitá suť s drobovými úlomky;

Objemová tíha : $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{\text{ef}} = 30,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{\text{ef}} = 0,00 \text{ kPa}$
 Třecí úhel kce-zemina : $\delta = 30,00^\circ$
 Zemina : nesoudržná
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{\text{sat}} = 19,00 \text{ kN/m}^3$

Droba R5

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{\text{ef}} = 33,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{\text{ef}} = 20,00 \text{ kPa}$
 Třecí úhel kce-zemina : $\delta = 18,00^\circ$
 Zemina : nesoudržná
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{\text{sat}} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Břidlice a droby R6

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{\text{ef}} = 26,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{\text{ef}} = 10,00 \text{ kPa}$
 Třecí úhel kce-zemina : $\delta = 13,00^\circ$
 Zemina : nesoudržná
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{\text{sat}} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Štěrk

Objemová tíha : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Napjatost : efektivní
 Úhel vnitřního tření : $\varphi_{\text{ef}} = 33,00^\circ$
 Soudržnost zeminy : $c_{\text{ef}} = 0,00 \text{ kPa}$
 Třecí úhel kce-zemina : $\delta = 30,00^\circ$
 Zemina : nesoudržná
 Obj.tíha sat.zeminy : $\gamma_{\text{sat}} = 21,00 \text{ kN/m}^3$


Zásyp za konstrukcí

Přiřazená zemina : Štěrk

Geologický profil a přiřazení zemin**Informace o umístění**

Kóta povrchu = 318,44 m



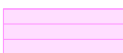

Geologický profil a přiřazení zemin

Číslo	Mocnost vrstvy t [m]	Hloubka z [m]	Nadm. výška [m]	Přiřazená zemina	Vzorek
1	1,00	0,00 .. 1,00	318,44 .. 317,44	Navážky písčito až jílovitoklastické	



Pouze pro nekomerční využití



Číslo	Mocnost vrstvy t [m]	Hloubka z [m]	Nadm. výška [m]	Přiřazená zemina	Vzorek
2	0,50	1,00 .. 1,50	317,44 .. 316,94	Navážky jílovitoklastické	
3	1,30	1,50 .. 2,80	316,94 .. 315,64	Hlinitá suť s drobovými úlomky;	
4	1,20	2,80 .. 4,00	315,64 .. 314,44	Břidlice a droby R6	
5	-	4,00 .. ∞	314,44 .. -	Droba R5	

Založení

Typ založení : zemina - geologický profil

Tvar terénu

Terén za konstrukcí je rovný.

Vliv vody

Hladina podzemní vody je pod úrovní konstrukce.

Odpor na líci konstrukce

Odpor na líci konstrukce: klidový

Zemina na líci konstrukce - Štěrk

Výška zeminy před zdí

$h = 1,00 \text{ m}$

Terén před konstrukcí je rovný.

Nastavení výpočtu fáze

Návrhová situace : trvalá

Posouzení čís. 1**Spočtené síly působící na konstrukci**

Název	F_{hor} [kN/m]	Působíště z [m]	F_{vert} [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh.- zed'	0,00	-1,91	133,00	1,16	1,000	1,000	1,350
Odpor na líci	-4,78	-0,33	0,00	0,00	1,000	1,000	1,000
Aktivní tlak	48,91	-1,50	28,24	2,00	1,350	1,350	1,000

Posouzení celé zdi**Posouzení na překlacení**

Moment vzdorující $M_{res} = 164,73 \text{ kNm/m}$

Moment klopící $M_{ovr} = 97,46 \text{ kNm/m}$

Zed' na překlacení VYHOVUJE**Posouzení na posunutí**

Vodor. síla vzdorující $H_{res} = 129,32 \text{ kN/m}$

Vodor. síla posunující $H_{act} = 61,25 \text{ kN/m}$

Zed' na posunutí VYHOVUJE**Celkové posouzení - ZED' VYHOVUJE**

Pouze pro nekomerční využití



Maximální napětí v základové spáře : 111,79 kPa

Únosnost základové půdy

Síly působící ve středu základové spáry

Číslo	Moment [kNm/m]	Norm. síla [kN/m]	Pos. síla [kN/m]	Excentricita [-]	Napětí [kPa]
1	14,68	207,79	44,13	0,035	111,79
2	37,96	171,12	61,25	0,111	109,95

Normové síly působící ve středu základové spáry (výpočet sedání)

Číslo	Moment [kNm/m]	Norm. síla [kN/m]	Pos. síla [kN/m]
1	22,16	161,24	44,13

Posouzení únosnosti základové půdy

Tvar napětí v základové půdě : lichoběžník

Posouzení excentricity

Max. excentricita normálové síly $e = 0,111$

Maximální dovolená excentricita $e_{alw} = 0,333$

Excentricita normálové síly VYHOVUJE

Posouzení únosnosti základové spáry

Únosnost základové půdy $R = 328,62$ kPa

Součinitel redukce odporu základové půdy $\gamma_{Rv} = 1,40$

Max. napětí v základové spáře $\sigma = 142,50$ kPa

Návrhová únosnost základové půdy $R_d = 234,73$ kPa

Únosnost základové půdy VYHOVUJE

Celkové posouzení - únosnost základové půdy VYHOVUJE

Dimenzace čís. 1

Spočtené síly působící na konstrukci

Název	F_{hor} [kN/m]	Působíště z [m]	F_{vert} [kN/m]	Působíště x [m]	Koef. překl.	Koef. posun.	Koef. napětí
Tíh.- zed'	0,00	-1,48	95,00	1,23	1,000	1,000	1,350
Aktivní tlak	29,59	-1,17	17,08	2,00	1,350	1,350	1,000

Posouzení pracovní spáry nad blokem čís.: 1

Posouzení na překlopení

Moment vzdorující $M_{res} = 116,07$ kNm/m

Moment klopící $M_{ovr} = 46,60$ kNm/m

Spára na překlopení VYHOVUJE

Posouzení na posunutí

Vodor. síla vzdorující $H_{res} = 61,97$ kN/m

Vodor. síla posunující $H_{act} = 39,95$ kN/m

Spára na posunutí VYHOVUJE

Maximální napětí na spodní blok = 72,67 kPa

Souč.redukce odskokem hor.bloku = 1,00



Pouze pro nekomerční využití



Průměrná hodnota tlaku na čelo = 34,24 kPa
 Smyková síla přenášená třením = 83,91 kN/m

Únosnost na boční tlak:

Únosnost spoje = 36,36 kN/m
 Spočtené namáhání = 17,12 kN/m

Posouzení na boční tlak VYHOVUJE**Posouzení spáry mezi bloky:**

Únosnost materiálu sítě = 36,36 kN/m
 Spočtené namáhání = 17,12 kN/m

Spára mezi bloky VYHOVUJE**Výpočet stability svahu****Výsledky (Fáze budování 1)****Výpočet 1****Kruhová smyková plocha**

Parametry smykové plochy						
Střed :	x =	-1,52 [m]	Úhly :	α_1 =	-41,28	[°]
	z =	318,69 [m]		α_2 =	87,13	[°]
Poloměr :	R =	4,99 [m]				
Smyková plocha po optimalizaci.						

Posouzení stability svahu (Bishop)

Sumace aktivních sil : $F_a = 174,77$ kN/m
 Sumace pasivních sil : $F_p = 399,68$ kN/m
 Moment sesouvající : $M_a = 872,12$ kNm/m
 Moment vzdorující : $M_p = 1813,10$ kNm/m
 Využití : 48,1 %

Stabilita svahu VYHOVUJE